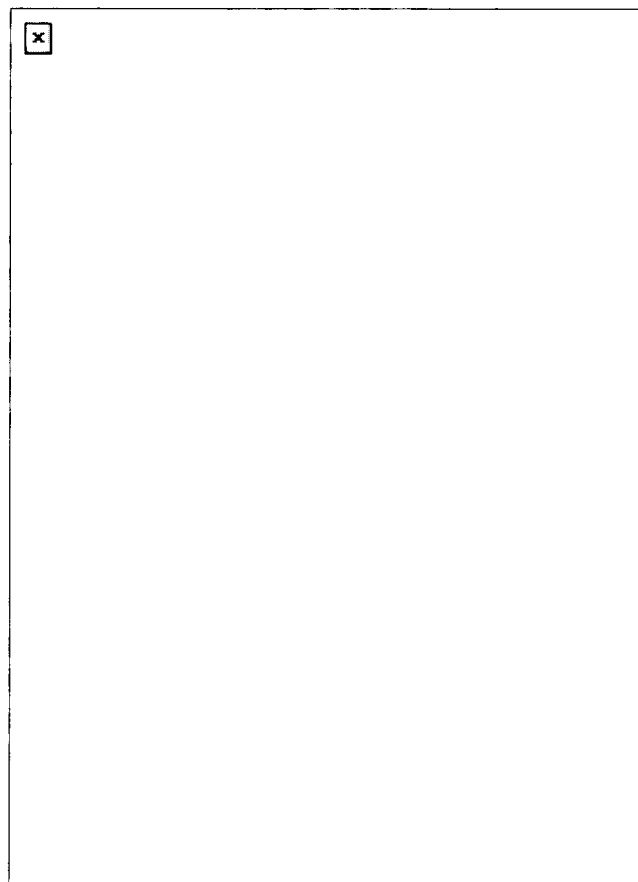


ALIGNER AND METHOD OF EXPOSURE

Patent number: JP11219900
Publication date: 1999-08-10
Inventor: OTA KAZUYA
Applicant: NIKON CORP
Classification:
- **international:** H01L21/027; G03F1/08; G03F7/20; G03F9/02
- **european:**
Application number: JP19980324769 19981116
Priority number(s):

Abstract of JP11219900

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the overlay accuracy of the transferred image of a pattern on a substrate by effectively suppressing the occurrence magnification error or misalignment in the transferred image.
SOLUTION: When lighting light EL is projected on the patterned surface of a mask R at a prescribed incident angle θ from an illumination system (12, M, and 44), the light EL is reflected by the patterned surface, and the reflected light is projected upon a substrate W by a projection optical system PO. Consequently, the pattern in a region on the mask R irradiated with the illuminating light is transferred onto the substrate W. When the pattern is transferred, a stage control system synchronously moves a mask stage RST and a substrate stage WST along a Y-direction, while adjusting the relative position of the mask R to the optical system PO in a Z-direction, based on prescribed positional information for adjustment. As a result, the occurrence of magnification error or misalignment in the transferred image of the pattern on the substrate resulting from the Z-displacement of the mask R can be suppressed effectively, and the overlay accuracy of the transferred image is improved, even though the mask side of the optical system PO is non-telecentric.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-219900

(43)公開日 平成11年(1999)8月10日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号

H01L 21/027

G 0 3 F 1/08

7/20

9/02

5 2 1

FI

H O 1 L 21/30

G 0 3 F 1/08

7/20

9/02

H O 1 L 21/30

5 2 6 A

$$\mathbf{z}$$

5 2 1

H

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数35 OL (全 35 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平10-324769

(22)出願日 平成10年(1998)11月16日

(31)優先権主張番号 特願平9-330861

(32)優先日 平9(1997)11月14日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 太田 和哉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

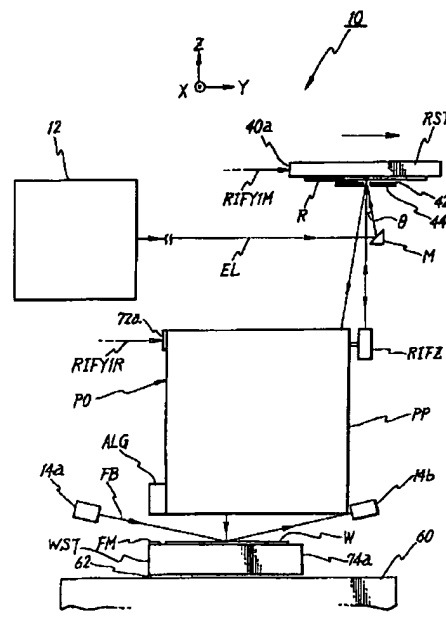
(74)代理人 弁理士 立石 篤司 (外1名)

(54) 【発明の名称】 露光装置及び露光方法

(57) 【要約】

【課題】 重ね合せ精度の向上を図る。

【解決手段】 照明系（１２、Ｍ、４４）によりマスクＲのパターン面に対し所定の入射角 θ で照明光ＥＬが照射されると、この照明光ＥＬがパターン面で反射され、この反射光が投影光学系ＰＯによって基板Ｗ上に投射され、照明光で照明されたマスクＲ上の領域のパターンが基板Ｗ上に転写される。この転写に際して、ステージ制御系では、所定の調整用位置情報に基づいてマスクＲの投影光学系ＰＯに対するＺ方向の相対位置を調整しつつ、マスクステージＲＳＴと基板ステージＷＳＴとをＹ方向に沿って同期移動させる。これにより、投影光学系ＰＯのマスク側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクのＺ変位に起因して基板Ｗ上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制でき、結果的に重ね合わせ精度が向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、前記マスクが反射型マスクであり、前記投影光学系が反射光学系であり、前記マスクを保持するマスクステージと；前記基板を保持する基板ステージと；前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を照射する照明系と；前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するために、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクステージと基板ステージとを前記第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させるステージ制御系とを備える露光装置。

【請求項2】 前記調整用位置情報は、前記マスクステージの前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、前記ステージ制御系は、前記マスクステージと基板ステージとの前記同期移動時に、前記マスクステージの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】 前記調整用位置情報は、予め計測された情報であることを特徴とする請求項1又は2に記載の露光装置。

【請求項4】 前記マスクの前記第1軸方向の位置を計測する計測装置を更に備え、前記ステージ制御系は、前記マスクステージと基板ステージとの前記同期移動中に前記計測装置を用いて前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項1又は2に記載の露光装置。

【請求項5】 前記計測装置は、前記マスクに対し垂直に測長ビームを照射してその反射光を受光することにより、前記マスクの前記第1軸方向の位置を計測する干渉計であることを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

【請求項6】 前記干渉計は、前記マスクの前記露光用照明光の照射領域に少なくとも2本の測長ビームを照射し、各測長ビームの照射位置毎に前記マスクの第1軸方向の位置を計測することを特徴とする請求項5に記載の露光装置。

【請求項7】 前記干渉計は、前記マスクの前記第2軸方向の異なる位置に測長ビームを照射し、各測長ビームの照射位置毎に前記マスクの第1軸方向の位置を計測することを特徴とする請求項5又は6に記載の露光装置。

【請求項8】 前記干渉計は、前記投影光学系に固定された参照鏡と、前記投影光学系から離れた位置に配置された干渉計本体とを有することを特徴とする請求項5～

7のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項9】 前記ステージ制御系は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードフォワード制御にて調整することを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

【請求項10】 前記ステージ制御系は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードバック制御にて調整することを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

【請求項11】 前記マスクのパターン面に近接して配置され、前記露光用照明光が照射される前記マスク上の第1照明領域を規定する第1スリットと、前記マスクに形成されたマーク部分に前記露光用照明光が照射される第2照明領域を規定する第2スリットとを有するスリット板と；前記スリット板を、前記露光用照明光が前記第1スリットに照射される第1位置と、前記露光用照明光が前記第2スリットに照射される第2位置との間で切替える切替機構とを更に備える請求項1～10のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項12】 前記マスクステージと前記基板ステージと前記投影光学系とが別々の支持部材に支持され、前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第1軸に直交する前記第2軸を含む面内の位置を計測する干渉計システムを更に備え、

前記干渉計システムが前記投影光学系を支持する部材に対する前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第1軸に直交する前記第2軸を含む面内の相対位置を計測することを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項13】 前記露光用照明光が軟X線領域の光であり、前記基板ステージ上に、蛍光発生物質と、この表面に前記露光用照明光の反射層又は吸収層の薄膜により形成された開口と、前記開口を介して前記露光用照明光が前記蛍光物質に到達した際に前記蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器を更に備えることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項14】 前記露光用照明光が軟X線領域の光であり、前記マスクのパターンが、前記露光用照明光の反射層上に成膜された前記露光用照明光の吸収物質によって形成されていることを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項15】 マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記マスクと直交する第1方向に対して傾いた光軸を有し、前記マスクに照明光を照射する照明光学系と；前記マスクで反射された照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記

マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置と；前記同期移動中、前記パターンの像倍率誤差を補正するために前記投影光学系に対して前記マスクを前記第1方向に相対移動させる補正装置とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項16】 前記照明系は、前記照明光として波長5～15nmの間のEUV光を前記マスクに照射し、前記投影光学系は、複数の反射光学素子のみからなることを特徴とする請求項15に記載の露光装置。

【請求項17】 前記補正装置は、前記マスクの前記第1方向の位置を計測する計測装置を有し、前記計測装置の出力に基づいて前記マスクを移動することを特徴とする請求項15又は16に記載の露光装置。

【請求項18】 マスクのパターンを基板上に転写する露光装置において、

前記マスクと直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系と；前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置と；前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償する補正装置とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項19】 前記マスクは反射型マスクであり、前記照明光学系は、前記照明光として波長5～15nmの間のEUV光を前記マスクに照射し、前記投影光学系は、複数の反射光学素子のみからなることを特徴とする請求項18に記載の露光装置。

【請求項20】 前記補正装置は、前記同期移動中、前記投影光学系の物体面側で前記マスクを前記第1方向に移動する駆動部材を含むことを特徴とする請求項18又は19に記載の露光装置。

【請求項21】 前記駆動部材は、前記投影光学系の物体面に対して前記マスクを相対的に傾けることを特徴とする請求項20に記載の露光装置。

【請求項22】 マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記マスクの垂線に対して傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系と；前記マスクで反射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系とを備え、前記照明光学系は、前記マスクに対して前記照明光の入射側に近接して配置され、前記マスク上での前記照明光の照射領域を規定する視野絞りを有し、前記視野絞りによって前記照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整することを特徴とする露光装置。

【請求項23】 前記視野絞りは、前記パターンの一部に前記照明光を照射する第1開口と、前記マスクに形成されるマークに前記照明光を照射する第2開口とを有し、前記第1開口と前記第2開口とを切り替える切替機構を

備えることを特徴とする請求項22に記載の露光装置。

【請求項24】 マスクと基板とを同期移動させつつ前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して前記基板上に転写する露光方法において、

前記マスクとして反射型マスクを用意し、

前記投影光学系として反射光学系を使用し、

前記マスクのパターン面に対し所定の入射角 θ で露光用照明光を照射して前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するに際し、

所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクと基板とを前記第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させることを特徴とする露光方法。

【請求項25】 前記調整用位置情報は、前記マスクの前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、

前記マスクと基板との前記同期移動時に、前記マスクの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項24に記載の露光方法。

【請求項26】 前記調整用位置情報は、予め計測された情報であることを特徴とする請求項24又は25に記載の露光方法。

【請求項27】 前記マスクと基板との前記同期移動中に前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項24又は25に記載の露光方法。

【請求項28】 マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光方法において、

前記マスクと直交する方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射し、

前記マスクに対して前記マスクを相対移動するのに同期して、前記マスクで反射されて前記投影光学系を通過する照明光に対して前記基板を相対移動し、

前記マスクと前記基板との同期移動中、前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償することを特徴とする露光方法。

【請求項29】 マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記マスクのパターン面に対して照明光を傾けて照射する照明光学系と；前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置と；前記同期移動中、前記投影光学系の物体面と直交する方向の前記マスクの位置と、前記物体面に対する前記マスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置とを備える露光

装置。

【請求項30】 反射型マスクに形成されるパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記反射型マスクと前記基板との間に奇数個の反射面を有する投影光学系と；前記反射型マスクを保持するマスクステージと；前記投影光学系に対して前記反射型マスクと同一側で前記基板を保持する基板ステージと；前記基板の走査露光時に、前記マスクステージと前記基板ステージとを所定方向にほぼ沿って駆動する駆動系とを備える露光装置。

【請求項31】 前記マスクステージと前記基板ステージとが同一面上に配置され、前記駆動系は、基板の走査露光時に、前記マスクステージと前記基板ステージとを所定方向にほぼ沿った同一直線状を逆向きに駆動することを特徴とする請求項30に記載の露光装置。

【請求項32】 前記反射型マスクに照明光をその主光線を傾けて照射する照明光学系を更に備え、前記駆動系は、前記照明光に対して前記反射型マスクと前記基板とをそれぞれ相対駆動することを特徴とする請求項30又は31に記載の露光装置。

【請求項33】 前記反射型マスク上での前記照明光の照射領域を円弧スリット状に規定する絞り部材を更に備えることを特徴とする請求項32に記載の露光装置。

【請求項34】 前記照明光はその波長が5～15nmの間であり、前記投影光学系は複数の反射光学素子のみからなることを特徴とする請求項32又は33に記載の露光装置。

【請求項35】 投影光学系を介して反射型マスクに形成されるパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記反射型マスクと前記基板とを同期移動するステージシステムと；前記ステージシステムに設けられ、前記反射型マスクを保持する保持部材とを備え、前記反射型マスクの基板材料と線膨張係数がほぼ同一の材料で前記保持部材を構成したことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光装置及び露光方法に係り、更に詳しくは、例えば半導体素子や液晶表示素子等の回路デバイスをリソグラフィ工程で製造する際に用いられる露光装置及び露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、半導体デバイスの製造現場では、波長365nmの水銀ランプのi線を照明光とした縮小投影露光装置、所謂ステッパを使って最小線幅が0.3～0.35μm程度の回路デバイス(64M(メガ)ビットのD-RAM等)を量産製造している。同時に、2

56Mビット、1G(ギガ)ビットD-RAMクラスの集積度を有し、最小線幅が0.25μm以下の次世代の回路デバイスを量産製造するための露光装置の導入が始まっている。

【0003】その次世代の回路デバイス製造用の露光装置として、KrFエキシマレーザ光源からの波長248nmの紫外パルスレーザ光、或いはArFエキシマレーザ光源からの波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光とし、回路パターンが描画されたマスク又はレチクル(以下、「レチクル」と総称する)と感応基板としてのウエハを縮小投影光学系の投影視野に対して相対的に1次元走査することで、ウエハ上の1つのショット領域内にレチクルの回路パターン全体を転写する走査露光動作とショット間ステッピング動作とを繰り返す、ステップアンドスキャン方式の走査型露光装置の開発が行われている。

【0004】ところで、半導体デバイスの集積度は、将来的に更に高集積化し、1Gビットから4Gビットに移行することは間違いがなく、その場合のデバイスルールは0.1μmすなわち100nmL/S程度となり、上記の波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光として用いる露光装置により、これに対応するには技術的な課題が山積している。デバイスルール(実用最小線幅)を表す露光装置の解像度は、一般的に露光波長λと、投影光学系の開口数N.A.を用いて次式(1)で表される。

【0005】

$$(\text{解像度}) = k \cdot \lambda / N.A. \quad \dots\dots (1)$$

ここで、kはケイファクタと呼ばれる1以下の正の定数で、使用されるレジストの特性などにより異なる。

【0006】上記式(1)から明らかなように解像度を高くするには、波長λを小さくすることが極めて有効であるため、最近になって波長5～15nmの軟X線領域の光(本明細書では、この光を「EUV(Extreme Ultraviolet)光」とも呼ぶ)を露光光として用いるEUV露光装置の開発が開始されるに至っており、かかるEUV露光装置が最小線幅100nmの次世代の露光装置の有力な候補として注目されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】EUV露光装置では、一般的に反射型レチクルを用い、この反射型レチクルに照明光を斜めから照射し、そのレチクル面からの反射光を投影光学系を介してウエハ上に投射することによって、レチクル上の照明領域のパターンがウエハ上に転写されるようになっている。また、このEUV露光装置では、レチクル上にはリング状の照明領域が設定され、レチクルとウエハとを投影光学系に対して相対走査ことによりレチクル上のパターンの全面を投影光学系を介してウエハ上に逐次転写する走査露光方法が採用されている。

【0008】これは、EUV露光装置に使用される光の波長(5~15nm)においては、吸収なく効率的に光を透過する物質が存在しないため必然的に反射型レチクルを使用する他なく、またビームスプリッタを作成するのも困難であるため、必然的にレチクルに対する照明光は斜めから照射しなくてはならないからである。

【0009】このため、レチクル側が非テレストリックになり、光軸に沿う方向のレチクルの変位がウエハ上ではリング状の露光領域(レチクル上の前記リング状照明領域に対応するウエハ上の領域)の長手方向には倍率変化、短手方向には位置変化として現われる。

【0010】具体的な数値を挙げて説明する。露光光として波長13nmのEUV光を使用して解像度100nmL/Sの投影光学系を設計するものとする。

【0011】上記式(1)式は、次式(2)のように変形できる。

【0012】

$$N.A. = k \cdot \lambda / (\text{解像度}) \quad \dots\dots (2)$$

今仮に $k=0.8$ とすれば、(2)式より、解像度100nmL/Sを得るために必要なN.A.は、 $N.A.=0.104 \approx 0.1$ であることが分かる。勿論、このN.A.はウエハ側における値であり、レチクル側のそれとは異なる。

【0013】ここで、投影光学系の投影倍率を、i線、g線、やKrFエキシマレーザ、或いはArFエキシマレーザを露光光として用いる従来の遠紫外線露光装置(DUV露光装置)で一般的に用いられる4:1とすると、ウエハ側でN.A.が0.1ならば、レチクル側はその4分の1の0.025である。このことは、レチクルに照射される照明光は、主光線に対して角度約±25mradの広がりを持つことを意味する。従って、入射光と反射光が互いに重ならないようにするには、入射角は最低でも25mrad以上でなければならないことになる。

【0014】例えば、図14において、入射角 θ (=出射角 θ)を50mradとすれば、レチクルRのパターン面のZ方向の変位(以下、適宜「レチクルのZ方向の変位」ともいう)ΔZに対するレチクルRに描かれた回路パターンの横ずれεは次式(3)で表わされる。

【0015】

$$\epsilon = \Delta Z \cdot \tan \theta \quad \dots\dots (3)$$

この式(3)から、例えばレチクルRが図14の上下方向(Z方向)に1μm変位した場合、レチクルパターン面における像の横ずれは約50nmとなり、ウエハ上ではその4分の1の12.5nmの像シフトが生ずることがわかる。デバイスルールが100nmL/Sの半導体プロセスにおいて許容できるオーバーレイ誤差(重ね合せ誤差)は30nm以下とも言われており、レチクルのZ方向の変位だけで12.5nmものオーバーレイ誤差が生ずることは非常に厳しいと言える。すなわち、オーバー

レイ誤差は、その他の要因、レチクルとウエハの位置合わせ精度(アライメント精度)やいわゆるステッピング精度を含むウエハステージの位置決め精度や投影光学系のディストーション等によってそれぞれ10nm程度生じ得るからである。

【0016】また、レチクルのZ方向変位は、レチクルの平行度やレチクルを支えているレチクルホルダの平坦度によっても引き起こされるため、上記のレチクルのZ方向変位に起因して生ずるオーバーレイ誤差の低減を図る技術の開発は、今や急務となっている。

【0017】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、重ね合せ精度の向上を図ることができる露光装置を提供することにある。

【0018】また、本発明の第2の目的は、重ね合せ精度の向上を図ることができる露光方法を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、マスク(R)に形成されたパターンを投影光学系(PO)を介して基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスク(R)が反射型マスクであり、前記投影光学系(PO)が反射光学系であり、前記マスクを保持するマスクステージ(RST)と；前記基板を保持する基板ステージ(WST)と；前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光(EL)を照射する照明系(12、30、M、44)と；前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するために、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクステージと基板ステージとを前記第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させるステージ制御系(80、34、62)とを備える。

【0020】これによれば、照明系によりマスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光が照射されると、この照明光がマスクのパターン面で反射され、この反射された露光用照明光が反射光学系から成る投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上の領域のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、ステージ制御系では、所定の調整用位置情報に基づいてマスクの投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、マスクステージと基板ステージとを第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させる。これにより、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてマスクの投影光学系の光軸方向(第1軸方向)の位置が調整されるので、投影光学系のマスク側が非テレストリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に

抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0021】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の露光装置において、前記調整用位置情報は、前記マスクステージ(RST)の前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、前記ステージ制御系(80、34、62)は、前記マスクステージと基板ステージ(WST)との前記同期移動時に、前記マスクステージの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする。

【0022】これによれば、ステージ制御系では、マスクステージと基板ステージとの同期移動時に、マスクステージの移動方向毎に、第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いてマスクの第1軸方向の位置を調整することから、マスクステージが第2軸に沿って一方側から他方側に移動するときと、他方側から一方側に移動するときとで、同期移動中の第1軸方向の位置変位がメカ的要因(ステージの移動特性)等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にマスクの第1軸方向の位置調整を行うことができ、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができる。

【0023】これらの場合において、例えば、請求項3に記載の発明の如く、前記調整用位置情報は、予め計測された情報であっても良い。かかる場合には、マスクステージと基板ステージとの同期移動中に、マスクの第1軸方向変位を計測することなく、予め計測された情報に基づいて例えばフィードフォワード制御により調整することができるので、その調整に際して制御遅れに起因する調整誤差が発生し難く、またマスクの第1軸方向位置調整のための構成部分を簡略にすることができる。

【0024】但し、請求項1又は2に記載の露光装置において、請求項4に記載の発明の如く、前記マスク(R)の前記第1軸方向の位置を計測する計測装置(RIFZ)を更に備えている場合には、前記ステージ制御系(80、34、62)は、前記マスクステージ(RST)と基板ステージ(WST)との前記同期移動中に前記計測装置を用いて前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整するようにしても良い。

【0025】この場合において、前記計測装置としては種々のものが考えられるが、例えば、請求項5に記載の発明の如く、前記計測装置は、前記マスクに対し垂直に測長ビームを照射してその反射光を受光することにより、前記マスクの前記第1軸方向の位置を計測する干渉計(RIFZ)であっても良い。かかる場合には、マス

クのパターン面に所定の入射角で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される露光用照明光に影響を及ぼすことなく、かつ露光用照明光によって干渉計測長ビームが影響を及ぼされることなく、高精度(例えば、数nm～1nm以下の精度)で同期移動中のマスクの光軸方向位置の計測及びその調整が可能になる。

【0026】この場合において、干渉計からのマスクに照射される測長ビームの照射位置、及び測長ビームの数が特に限定されるものではないが、例えば、請求項6に記載の発明の如く、前記干渉計(RIFZ)は、前記マスク(R)の前記露光用照明光の照射領域(IA)に少なくとも2本の測長ビームを照射し、各測長ビームの照射位置毎に前記マスク(R)の第1軸方向の位置を計測することが望ましい。かかる場合には、干渉計により時々刻々のパターン転写の対象領域である露光用照明光の照射領域内に2本の測長ビームが照射され、それぞれの位置でマスクの第1軸方向の位置が計測されるので、結果的に最も正確な測定データに基づいて時々刻々のマスク上のパターン転写の対象領域内の第1軸方向位置のみでなくその傾斜をも調整することが可能になり、結果的に重ね合わせ精度を一層向上させることが可能になる。

【0027】上記請求項5又は6に記載の各発明において、請求項7に記載の発明の如く、前記干渉計は、前記マスクの前記第2軸方向の異なる位置に測長ビームを照射し、各測長ビームの照射位置毎に前記マスクの第1軸方向の位置を計測することを特徴とする。かかる場合には、少なくとも第2軸方向(同期移動方向)については、マスクステージと基板ステージとの同期移動中にマスクの光軸方向位置ずれ傾斜ずれを調整することが可能になる。

【0028】上記請求項5～7に記載の各発明において、請求項8に記載の発明の如く、前記干渉計(RIFZ)は、前記投影光学系(PO)に固定された参照鏡と、前記投影光学系から離れた位置に配置された干渉計本体とを有していても良い。かかる場合には、干渉計本体が投影光学系から離れているので、干渉計本体の発熱に起因して投影光学系、あるいはそれに固定されたアライメントセンサやフォーカスセンサ等の各種のセンサの光学特性に悪影響を与えるのを回避することができる。

【0029】また、上記請求項4に記載の発明において、請求項9に記載の発明の如く、前記ステージ制御系(80、34、62)は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードフォワード制御にて調整しても良く、あるいは、請求項10に記載の発明の如く、前記ステージ制御系は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードバック制御にて調整しても良い。前者の場合には、ステージ制御系ではマスク上の時々刻々のパターン転写の対象領域が露光用照明光の照射領域に差し掛かる前にマスクの光軸方向位置を計測するいわゆる先

読み制御を行うことが必要となるが、計測された情報に基づいてフィードフォワード制御にて前記マスクの第1軸方向の位置を調整できるので、その調整に際して制御遅れが発生し難い。また、後者の場合には、前者の場合に比べて制御遅れが発生する可能性が高いが、先読み制御等が不要であることに加え、より高精度にマスクの第1軸方向の位置を調整できる。

【0030】請求項11に記載の発明は、上記請求項1～10に記載の各発明において、前記マスク(R)のパターン面に近接して配置され、前記露光用照明光が照射される前記マスク上の第1照明領域(IA)を規定する第1スリット(44a)と、前記マスクに形成されたマーク(例えばRM1、RM4)部分に前記露光用照明光が照射される第2照明領域を規定する第2スリット(44b)とを有するスリット板(44)と；前記スリット板(44)を、前記露光用照明光が前記第1スリット(44a)に照射される第1位置と、前記露光用照明光が前記第2スリット(44b)に照射される第2位置との間で切替える切替機構(46)とを更に備える。

【0031】これによれば、切替機構では、露光時にはスリット板を第1位置に切り替えて、露光用照明光がマスク上の第1照明領域を規定する第1スリットに照射されるようにし、マスクの位置合わせ(アライメント)時にはスリット板を第2位置に切り替えて、露光用照明光がマスクに形成されたマーク部分に照射される第2照明領域を規定する第2スリットに照射されるようにすることができる。これにより、同一のスリット板を用いて露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になり、それぞれの目的に応じたスリット板を設ける必要がなくなる。

【0032】請求項12に記載の発明は、請求項1～10に記載の各発明において、前記マスクステージ(RST)と前記基板ステージ(WST)と前記投影光学系(PO)とが別々の支持部材に支持され、前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第1軸に直交する前記第2軸を含む面内の位置を計測する干渉計システム(70)を更に備え、前記干渉計システムが前記投影光学系を支持する部材に対する前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第1軸に直交する前記第2軸を含む面内の相対位置を計測することを特徴とする。これによれば、マスクステージと前記基板ステージと前記投影光学系とが別々の支持部材に支持されているが、干渉計システムが投影光学系を支持する部材に対するマスクステージと基板ステージとの第1軸に直交する第2軸を含む面内の相対位置を計測するので、マスクステージと基板ステージとの位置を投影光学系を支持する部材を基準として管理することができ、何らの不都合も生じない。すなわち、マスクステージと基板ステージと投影光学系とが機械的に連結されていないので、マスクステージ、基板ステージの移動時の加減速度による反力やそれぞれ

のステージの支持部材の振動が、投影光学系の結像特性に悪影響を及ぼしたり、一方のステージの移動時の加減速度による反力が支持部材を介して他方のステージの挙動に悪影響を与えることもない。

【0033】請求項13に記載の発明は、請求項1～10に記載の各発明において、前記露光用照明光(EL)が軟X線領域の光であり、前記基板ステージ(WST)上に、蛍光発生物質(63)と、この表面に前記露光用照明光の反射層(64)又は吸収層の薄膜により形成された開口(SLT)と、前記開口を介して前記露光用照明光が前記蛍光物質に到達した際に前記蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子(PM)とを有する空間像計測器(FM)を更に備えることを特徴とする。これによれば、基板ステージ上に、蛍光発生物質と、この表面に露光用照明光の反射層又は吸収層の薄膜により形成された開口と、開口を介して露光用照明光が蛍光物質に到達した際に蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器を更に備えるので、前述した如く、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となる。従って、この空間像計測器を用いてマスクパターンの基板ステージ上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

【0034】上記請求項1～12に記載の各発明において、請求項14に記載の発明の如く、前記露光用照明光(EL)が軟X線領域の光である場合には、前記マスク(R)のパターンが、前記露光用照明光の反射層上に成膜された前記露光用照明光の吸収物質によって形成されていることが望ましい。かかる場合には、露光用照明光の吸収物質によってパターンが形成されている(パタニングされている)ので、露光用照明光である軟X線領域の光の反射物質としての多層膜をパタニングする場合と異なり、失敗した場合のパターン修復が可能となる。また、上記吸収物質の材料を適当に選択することにより、上記の露光用照明光の反射層と吸収物質とを干渉計の測長ビーム(例えば可視領域の光)に対してほぼ同一反射率に設定することができ、マスク上の全面でほぼ同一精度でマスクの光軸方向位置を計測することが可能となる。

【0035】請求項15に記載の発明は、マスク(R)のパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスクと直交する第1方向に対して傾いた光軸を有し、前記マスクに照明光を照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)と；前記マスクで反射された照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置(RST、WST、80、34、62)と；前記同期移動中、前記パターンの像倍率誤差を補正するために前記投影光学系に対

して前記マスクを前記第1方向に相対移動させる補正装置(80、34、RST)とを備える。

【0036】これによれば、照明光学系からマスクと直交する第1方向に対して傾いた光軸方向の照明光がマスクに照射される。すなわち、照明光学系からの照明光がマスクに対して斜め方向から照射される。そして、この照明光はマスク面で反射され、この反射光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、駆動装置では投影光学系の倍率に応じた速度比でマスクと基板とを同期移動する。この同期移動中に、補正装置ではパターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系に対してマスクを第1方向に相対移動させる。これにより、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際補正装置により、パターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系に対してマスクが第1方向に相対移動されるので、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0037】この場合において、請求項16に記載の発明の如く、前記照明光学系(PRM、IM、30、M、44)は、前記照明光(EL)として波長5～15nmの間のEUV光を前記マスク(R)に照射し、前記投影光学系(PO)は、複数の反射光学素子のみからなることを特徴としてもよい。かかる場合には、露光用照明光としてEUV光を用いてマスクのパターンが反射光学素子のみからなる投影光学系を介して基板上に転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能になる。

【0038】上記請求項15又は16に記載の露光装置において、請求項17に記載の発明の如く、前記補正装置(80、RST、34、RIFZ)は、前記マスク(R)の前記第1方向の位置を計測する計測装置(RIFZ)を有する場合には、前記計測装置の出力に基づいて前記マスクを移動するようにしても良い。

【0039】請求項18に記載の発明は、マスク(R)のパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスク(R)と直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)と；前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置(RST、WST、80、34、62)と；前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償する補正装置(80、RST、34)とを備える。

【0040】これによれば、照明光学系からマスクと直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光がマ

スクに照射される。すなわち、照明光学系からの照明光がマスクに対して斜め方向から照射される。そして、マスクから出射されるマスクと直交する第1方向に対して主光線が傾いた照明光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、駆動装置では投影光学系の倍率に応じた速度比でマスクと基板とを同期移動する。この同期移動中のマスクの移動によって生じるパターンの像倍率の変化が補正装置によって補償される。従って、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際補正装置により、パターンの像倍率誤差が補償されるので、マスクの移動に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0041】この場合において、請求項19に記載の発明の如く、前記マスク(R)は反射型マスクであり、前記照明光学系(PRM、IM、30、M、44)は、前記照明光として波長5～15nmの間のEUV光を前記マスクに照射し、前記投影光学系(PO)は、複数の反射光学素子(M1～M4)のみからなるものであっても良い。かかる場合には、露光用照明光としてEUV光を用いてマスクのパターンが反射光学素子のみからなる投影光学系を介して基板上に転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能になる。

【0042】上記請求項18又は19に記載の露光装置において、請求項20に記載の発明の如く、前記補正装置(RST、80、34)は、前記同期移動中、前記投影光学系の物体面側で前記マスク(R)を前記第1方向に移動する駆動部材(RST、34)を含んでいても良い。

【0043】この場合において、駆動部材は、同期移動中、投影光学系の物体面側でマスクを第1方向に移動させるものであれば足りるが、例えば請求項21に記載の発明の如く、前記駆動部材は、前記投影光学系の物体面に対して前記マスクを相対的に傾けるものであっても良い。かかる場合には、同期移動中、駆動部材によって、投影光学系の物体面側でマスクが第1方向に移動させるのに加え、投影光学系の物体面に対する傾斜調整も可能になるので、投影光学系の物体面側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0044】請求項22に記載の発明は、マスク(R)のパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスクの垂線に対して傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)と；前記マスクで反射される照明光を前記基

板上に投射する投影光学系(PO)とを備え、前記照明光学系は、前記マスクに対して前記照明光の入射側に近接して配置され、前記マスク上での前記照明光の照射領域を規定する視野絞り(44)を有し、前記視野絞りによって前記照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整することを特徴とする。

【0045】これによれば、照明光学系からマスクの垂線に対して傾けられた照明光がマスクに照射される。すなわち、照明光学系からマスクに対して斜めから照明光が照射される。そして、マスクで反射された照明光が投影光学系により基板上に投射され、マスクのパターンが基板上に転写される。また、この場合、照明光学系は、マスクに対して照明光の入射側に近接して配置され、マスク上での照明光の照射領域を規定する視野絞りを有し、視野絞りによって照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整するので、視野絞りのない場合に比べて照明光学系からマスクに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。特に、視野絞りによってマスク上での照明光の照射領域の位置を調整する場合には、同一照明光を別の目的、例えば露光、マーク位置検出等に用いることが可能になる。

【0046】この場合において、請求項23に記載の発明の如く、前記視野絞り(44)は、前記パターンの一部に前記照明光(EL)を照射する第1開口(44a)と、前記マスクに形成されるマーク(例えば、RM1とRM4)に前記照明光を照射する第2開口(44b)とを有し、前記第1開口と前記第2開口とを切り替える切替機構(46)を備えることが望ましい。かかる場合には、切替機構では、露光時には視野絞りを第1開口側に切り替えて、照明光がマスク上のパターンの一部に照射されるようにし、マスクの位置合わせ(アライメント)時には視野絞りを第2開口側に切り替えて、照明光がマスクに形成されたマークに照射されるようにすることができる。これにより、同一の視野絞りにより露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になる。

【0047】請求項24に記載の発明は、マスク(R)と基板(W)とを同期移動させつつ前記マスクに形成されたパターンを投影光学系(PO)を介して前記基板上に転写する露光方法において、前記マスク(R)として反射型マスクを用意し、前記投影光学系(PO)として反射光学系を使用し、前記マスクのパターン面に対し所定の入射角 θ で露光用照明光を照射して前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するに際し、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスク(R)の前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクと基板とを前記第1軸方向に直交する第2軸方

向に沿って同期移動させることを特徴とする。

【0048】これによれば、マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を照射して露光用照明光により照明されたマスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写するに際し、所定の調整用位置情報に基づいてマスクの投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、マスクと基板とが第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動される。従って、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてマスクの投影光学系の光軸方向(第1軸方向)の位置が調整されるので、投影光学系(反射光学系)のマスク側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0049】この場合において、請求項25に記載の発明の如く、前記調整用位置情報は、前記マスク(R)の前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、前記マスク(R)と基板(W)との前記同期移動時に、前記マスクの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴としても良い。かかる場合には、マスクと基板との同期移動時に、マスクの移動方向毎に、第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いてマスクの第1軸方向の位置を調整することから、マスクが第2軸に沿って一方側から他方側に移動するときと、他方側から一方側に移動するときとで、同期移動中の第1軸方向の位置変位がメカ的要因(ステージの移動特性)等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にマスクの第1軸方向の位置調整を行うことができ、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができる。

【0050】上記請求項24又は25に記載の露光方法において、請求項26に記載の発明の如く、前記調整用位置情報は、予め計測された情報であっても良く、あるいは請求項27に記載の発明の如く、前記マスクと基板との前記同期移動中に前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整するようにしても良い。前者の場合には、マスクと基板との同期移動中に、マスクの第1軸方向変位を計測することなく、予め計測された情報に基づいて例えばフィードフォワード制御により調整することができるので、その調整に際して制御遅れに起因する調整誤差が発生し難く、またマスクの第1軸方向位置調整のための構成部分を簡略にすることができる。また、

後者の場合には、同期移動中に計測した情報を用いてフィードバック制御により高精度にマスクの第1軸方向の位置を調整できる。

【0051】請求項28に記載の発明は、マスク(R)のパターンを投影光学系(PO)を介して基板(W)上に転写する露光方法において、前記マスクと直交する方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射し、前記照明光に対して前記マスクを相対移動するのに同期して、前記マスクで反射されて前記投影光学系を通過する照明光に対して前記基板を相対移動し、前記マスクと前記基板との同期移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償することを特徴とする。ここで、マスクと基板との同期移動によって生じるパターンの像倍率の変化とは、同期移動中のマスクの移動、主として投影光学系の光軸方向の移動に起因するパターンの像倍率の変化を意味する。

【0052】これによれば、マスクと基板との同期移動によって生じるパターンの像倍率の変化を補償するので、投影光学系の物体面側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0053】請求項29に記載の発明は、マスク(R)のパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスクのパターン面に対して照明光を傾けて照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)と；前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置(RST、WST、80、34、62)と；前記同期移動中、前記投影光学系の物体面と直交する方向の前記マスクの位置と、前記物体面に対する前記マスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置(80、RIFZ、34、RST)とを備える。

【0054】これによれば、照明光学系からマスクのパターン面に対して傾けて照明光が照射される。すなわち、照明光学系からの照明光がマスクのパターン面に対して斜め方向から照射される。そして、この照明光はマスク面で反射され、この反射光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、駆動装置では投影光学系の倍率に応じた速度比でマスクと基板とを同期移動する。この同期移動中に、調整装置では投影光学系の物体面と直交する方向のマスクの位置と、物体面に対するマスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する。これにより、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際調整装置により、投影光学系の物体面と直交する方向のマスクの位置と、物体面に対するマスクの相対的な

傾きとの少なくとも一方調整するので、マスクの光軸方向変位又は傾斜に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差、又はディストーションが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0055】請求項30に記載の発明は、反射型マスク(R)に形成されるパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記反射型マスクと前記基板との間に奇数個の反射面(M5～M9)を有する投影光学系(PO')と；前記反射型マスクを保持するマスクステージ(RST)と；前記投影光学系に対して前記反射型マスクと同一側で前記基板を保持する基板ステージ(WST)と；前記基板の走査露光時に、前記マスクステージと前記基板ステージとを所定方向にほぼ沿って駆動する駆動系(80、34、62)とを備える。

【0056】これによれば、投影光学系に対して反射型マスクと同一側に基板を保持する基板ステージが配置されているので、マスクステージと基板ステージとを同一の支持部材(ステージベース)によって支持することができる。また、例えば、基板ステージとマスクステージとの質量の比が投影倍率と同一の場合には、走査露光時に、駆動系により、マスクステージと基板ステージとを投影光学系の投影倍率に応じた速度比で所定方向にほぼ沿って逆向きに駆動することにより、運動量保存則が成立してマスクステージの駆動により前記支持部材(ステージベース)に作用する反力と、基板ステージの駆動により前記支持部材に作用する反力とが相殺され、両ステージの同期誤差がほぼ零となり、これにより、上記の同期誤差及び支持部材の振動等に起因して基板上のパターン転写像に位置ずれが生じるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることができ。

【0057】また、例えば、基板ステージとマスクステージとの質量の比が投影倍率と異なる場合には、両ステージを、それらの駆動力の反力に応じて自在に移動する可動型ステージベースによって支持することにより、基板の走査露光時に、マスクステージと基板ステージとが駆動系により所定方向にほぼ沿って駆動されると、両ステージの駆動力の反力の合力の大きさ及び方向に応じて可動型ステージベースが固定部材に対して相対移動し、マスクステージ、ウエハステージ及び可動型ステージベースを含む系の運動量が保存され、その系全体の重心移動及びこれに起因する偏荷重が生じないので、上記と同様、両ステージの同期誤差がほぼ零となる。これにより、基板上のパターン転写像に位置ずれが生じるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることができる。

【0058】この場合において、マスクステージと基板ステージとが異なる面上に配置されているときには、両ステージの駆動に起因する反力が上記支持部材に回転モ

ータメントを及ぼすため、該回転モーメントの影響を除去する何らかの装置、例えばアクティブ防振台等を設ける必要がある。

【0059】かかる意味で、請求項31に記載の発明の如く、前記マスクステージ(RST)と前記基板ステージ(WST)とが同一面上に配置され、前記駆動系は、前記基板の走査露光時に、前記マスクステージと前記基板ステージとを所定方向にほぼ沿った同一直線状を逆向きに駆動することが望ましい。かかる場合には、走査露光時に、駆動系により、マスクステージと基板ステージが投影光学系の投影倍率に応じた速度比で前記所定方向にほぼ沿った同一線上を逆向きに駆動されるので、上記と同様の理由により、両ステージの同期誤差がほぼ零となるとともに支持部材に与えるモーメントも零となり、高価なアクティブ防振台等も不要となる。

【0060】上記請求項30及び31に記載の各発明に係る露光装置において、請求項32に記載の発明の如く、前記反射型マスク(R)に照明光(EL)をその主光線を傾けて照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)を更に備えている場合に、前記駆動系は、前記照明光に対して前記反射型マスクと前記基板とをそれぞれ相対駆動しても良い。かかる場合には、照明光学系からその主光線が傾けられた照明光がマスクに照射される。すなわち、照明光学系からの照明光がマスクに対して斜め方向から照射される。そして、マスクから射出される照明光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。

【0061】この場合において、請求項33に記載の発明の如く、前記反射型マスク(R)上での前記照明光(EL)の照射領域を円弧スリット状に規定する絞り部材(44)を更に備えていても良い。かかる場合には、絞り部材によって反射型マスク上での前記照明光の照射領域が円弧スリット状に規定されるので、絞り部材の無い場合に比べて照明光学系から反射型マスクに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。

【0062】上記請求項32及び33に記載の各発明に係る露光装置において、請求項34に記載の発明の如く、前記照明光はその波長が5～15nmの間であり、前記投影光学系は複数の反射光学素子のみからなるものであっても良い。かかる場合には、照明光としてEUV光を用いてマスクのパターンが複数の反射光学素子のみからなる投影光学系を介して基板上に転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能になる。

【0063】請求項35に記載の発明は、投影光学系(PO)を介して反射型マスク(R)に形成されるパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記

投影光学系の倍率に応じた速度比で前記反射型マスクと前記基板とを同期移動するステージシステム(RST、WST、80、34、62)と；前記ステージシステムに設けられ、前記反射型マスクを保持する保持部材(RH)とを備え、前記反射型マスクの基板材料と線膨張係数がほぼ同一の材料で前記保持部材を構成したことを特徴とする。

【0064】これによれば、ステージシステムにより、投影光学系の倍率に応じた速度比で反射型マスクと基板とが同期移動され、走査露光が行われる。この走査露光中に、照明光の照射等による温度上昇に起因して反射型マスクや保持部材に熱膨張が生じるが、反射型マスクの基板材料と線膨張係数がほぼ同一の材料で保持部材が構成されているので、両者の間にずれようとする力(熱応力)が働くことがない。

【0065】

【発明の実施の形態】《第1の実施形態》以下、本発明の第1の実施形態を図1～図11に基づいて説明する。

【0066】図1には、第1の実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、露光用照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。本実施形態では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束をウエハW上に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへの照明光ELの投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶとともに、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1における紙面内の方向をY軸方向、紙面に直交する方向をX軸方向として説明するものとする。

【0067】この露光装置10は、マスクとしての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向(ここではY軸方向)に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0068】露光装置10は、EUV光ELをY方向に沿って水平に射出する光源装置12、この光源装置12からのEUV光ELを反射して所定の入射角 θ (θ はここでは約50mradとする)でレチクルRのパターン面(図1における下面)に入射するように折り曲げる折り返しミラーM(照明光学系の一部)、レチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRのパターン面で反射されたEUV光ELをウエハWの被露光面に対して垂直に投射する反射光学系から成る投影光学系PO、ウエハWを保持するウエハステージWST、フォーカスセンサ(14a、14b)及びアライメント光学系

ALG等を備えている。

【0069】前記光源装置12は、図2に示されるように光源16と照明光学系の一部（PRM、IM、30）とから構成される。光源16は、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ20と、この高出力レーザ20からのレーザ光Lを所定の集光点に集光する集光レンズ22と、この集光点に配置された銅テープ等のEUV光発生物質24とを備えている。

【0070】ここで、EUV光の発生のしくみについて簡単に説明すると、高出力レーザ20からのレーザ光Lが集光レンズ22の集光点に配置されたEUV光発生物質24に照射されると、このEUV光発生物質24がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態に遷移する際にEUV光ELを放出する。

【0071】このようにして発生したEUV光ELは全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置12内には放物面鏡PRMが設けられており、この放物面鏡PRMによってEUV光ELは集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡PRMの内表面にはEUV光を反射するためのEUV光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置26が取り付けられている。冷却装置26としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡PRMの素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡PRMの表面に形成されているEUV光反射層として、2種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティングすると波長約13nmのEUV光を選択的に反射することが知られている。反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡PRMの温度が上昇する。この放物面鏡PRMを冷却するために、前記冷却装置26が必要となるのである。放物面鏡PRMによって平行光に変換されたEUV光ELは、その光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が均一な平行光である。

【0072】光源装置12内には、更に、上記の平行光に変換されたEUV光ELを反射して図1の折り返しミラーMの方向に向けて偏向する照明ミラーIMと、この照明ミラーIMのEUV光ELの進行方向後方側（図2における紙面右側）に配置された波長選択窓30とが設けられている。照明ミラーIMは、図2に示されるように、EUV光ELが照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、2種類の物質を交互に積層（例えば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティング）した多層膜から成る反射層が形成され、この反射層で反射されたEUV光がレチクルR上で丁度細長いスリット状になるよう設計されている。

【0073】図2の紙面内上下方向が後述するレチクルRのパターン面を照明する後述する所定面積を有する円弧状の照明領域（リング状照明領域の一部を取り出したような形状の照明領域）の長手方向に直交する方向に対応し、レチクルRのパターン面が丁度焦点面となっている。この場合、EUV光ELの発光源が有限の大きさを持つため、レチクルRのパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上ではEUV光ELは1mmから10mm程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域を照明するのに細すぎるということは無い。照明ミラーIMの反射面の裏面側には、前述した冷却装置26と同様の冷却装置28が設けられている。

【0074】前記波長選択窓30は、ここでは、可視光をカットする目的で設けられている。これは、多層膜から成るEUV反射膜は、EUV光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光なども同様に反射してしまう。これをレチクルRや投影光学系POに導いたりすると、余計なエネルギーのためにレチクルRや投影光学系POを構成するミラー（これらについては後述する）が発熱したり、最悪の場合にはウエハW上に不要な光が転写されて像の劣化を招くおそれもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。

【0075】図3には、図2に示される光源装置12をY方向一側（図2における左側）から見た状態が示されている。この図3においては、紙面の奥側に図1の折り返しミラーMがある。照明ミラーIMの反射面は図3には表れていないが、図3の紙面奥側からみた場合に長方形状をしている。すなわち、図2では凹曲面、この左側面図である図3では長方形であるから、照明ミラーIMの反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。この場合、EUV光ELは、図2の紙面内では収束されるが、図3の紙面内では平行光のままであるから、図3中の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーがゼロと言うわけではない。

【0076】図1に戻り、前記レチクルステージRSTは、図1では図示が省略されているが、実際には図4に示されるように、XY平面に沿って配置されたレチクルステージベース32上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によって該レチクルステージベース32上に浮上支持されている。このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、X方向及びθ方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0077】レチクルステージRSTの周辺部の底部には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース32上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル34aとによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34が構成されており、後述する主制御装置80によってコイル34aに流す電流を制御することによってレチクルステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0078】レチクルステージRSTは、図4に拡大して示されるように、レチクルRをレチクルステージベース32に対向して保持するレチクルホルダRHと、レチクルホルダRHの周辺部を保持するステージ本体35と、ステージ本体35の内部でレチクルホルダRHの背面側（上面側）に設けられ該レチクルホルダRHの温度をコントロールするための温度制御部36とを備えている。前記レチクルホルダRHとしては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、EUV光ELを露光用照明光として用いる関係から、本実施形態の露光装置10は、実際には、不図示の真空チャンバ内に収容されており、このため真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダRHの素材は低膨張ガラスやセラミックなど従来のDUV露光装置で使用されている物で差し支えない。

【0079】レチクルホルダRHのレチクル吸着面には、複数の温度センサ38が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ38によってレチクルRの温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部36でレチクルRの温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部36を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ペルチェ素子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱交換器を用いる方式などが採用できる。

【0080】レチクルステージRSTのY方向一侧の側面には、鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面40aが形成されている。図4では図示が省略されているが、図6に示されるように、レチクルステージRSTのX方向一侧の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面40bが形成されている。そして、この露光装置10では、従来のDUV光源の露光装置と同様に、前記反射面40a、40bに測定ビームを照射する干渉計システムによってレチクルステージRSTのXY面内の位置が管理されている。この干渉計システムについては、後に詳述する。

【0081】レチクルRの表面（パターン面）には、EUV光を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、例えば2種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデンMoと珪素Siの多層膜を用いて波長13nmのEUV光に対して反射率約70%の

反射膜を形成している。かかる反射膜の上にEUV光を吸収する物質を一面に塗布し、パタニングする。多層膜のような反射物体をパタニングすると失敗した時の修復が不可能であるのに対し、吸収層を設けてパタニングする方法だとやり直しが可能になるのでパターン修復が可能になる。実在する大部分の物質がEUV光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本実施形態では、後述するように、レチクルRのZ方向位置を計測するために、レーザ干渉計（RIFZ1～RIFZ3）が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム（可視領域の光）に対して前記反射層と同程度の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。この他、この吸収層形成材料の選択の基準としてパタニングのし易さ、反射層への密着性、酸化などによる経年変化が小さいなどが挙げられる。

【0082】図5には、レチクルRの一例が示されている。図中の中央にある長方形の領域がパターン領域PAである。斜線が施された円弧状の領域が露光用照明光であるEUV光ELが照射される円弧状照明領域IAである。ここで、円弧状の照明領域を用いて露光を行うのは、後述する投影光学系POの諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクルRのパターン領域PAのX方向両端部には、Y方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマークRM1～RM6が形成されている。レチクルアライメントマークRM1とRM4、RM2とRM5、RM3とRM6は、それぞれほぼX方向に沿って配置されている。

【0083】図5から明らかなように円弧状の照明領域IAを用いる場合には、一括露光（静止露光）を行うのは現実的でないため、本実施形態では後述するようにして走査露光が行われる。

【0084】レチクルRは、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクルRそのものの素材は特に問わない。レチクルRの素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス（例えば、ショット社のゼロデュア（商品名）、コーニング社のULE（商品名）なども含む）、セラミックス、シリコンウエハなどが考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダRHの素材と同一の素材をレチクルRの素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、露光用照明光ELの照射等による温度上昇に起因してレチクルRやレチクルホルダRHに熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力（熱応力）が働かないというメリットがある。これに限らず、異なる物質であっても同じ線膨張率を持った物質をレチクルRとレチクルホルダRHとの素材として用いれば、同じ効果が得られる。例えば、レチクルRにシリコンウエハ、レチクルホルダRHにSiC（炭化珪素）を用いることが考えられる。レチクルRの素材と

してシリコンウエハを用いると、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置などのプロセス装置などがそのまま使用できると言う利点もある。本実施形態では、かかる理由により、レチクルRの素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダをSiCによって形成している。

【0085】図1に戻り、レチクルRの下方(EUV光の入射側)には可動式ブラインド42、視野絞りとしてのスリット板44とがレチクルRに近接して配置されている。より具体的には、これら可動式ブラインド42、スリット板44は、実際には、図4に示されるようにレチクルステージベース32の内部に配置されている。

【0086】スリット板44は、円弧状の照明領域IAを規定するもので、投影光学系POに対して固定されていても勿論良いが、本実施形態においては、このスリット板44は、モータ等を含む切替機構としての駆動機構46によって駆動可能に構成されている。図7には、このスリット板44及びその駆動機構46の平面図が示されている。スリット板44には、露光用照明光としてのEUV光ELが照射されるレチクルR上の円弧状の照明領域(第1照明領域)IAを規定する第1開口としての第1スリット44aと、レチクルRのパターン領域PAの両側に形成されたアライメントマークRM1とRM4(あるいは、RM2とRM5、RM3とRM6)部分に露光用照明光ELが照射される第2照明領域を規定する第2開口としての第2スリット44bとを有する。駆動機構46は、モータ46Aとこのモータの出力軸に継ぎ手46Bを介して連結された送りねじ46Cと、前記モータ46Aの制御部46Dとを備えている。スリット板44の図7における紙面裏側に突設されたナット部(図示省略)に送りねじ46Cが螺合している。このため、モータ46Aの回転によって送りねじ46Cが回転駆動され、これによって送りねじ46Cの軸方向(Y方向)にスリット板44が駆動されるようになっている。駆動機構46の制御部46Dは、後述する主制御装置80(図10参照)からの指示に従って、露光時には、スリット板44を、露光用照明光ELが第1スリット44aに照射される第1位置に切り替え、レチクルRの位置合わせ(アライメント)時には、スリット板44を、露光用照明光ELが第2スリット44bに照射される第2位置に切り替えるようになっている。なお、送りねじ機構の代わりに、例えばリニアモータを用いてスリット板44を駆動しても良い。

【0087】図4に戻り、前記可動式ブラインド42は、同一レチクルR内に描かれた冗長回路パターンをウエハWに転写したくない場合、その冗長回路部分が照明領域IA内に含まれるのを防止するためのもので、本実施形態では、後述する主制御装置80(図10参照)からの指示に応じ、駆動機構46を構成する前記制御部46DによってレチクルステージRSTのY方向の移動と

同期してそのY方向の移動が制御されるようになっていゝる。この場合において、可動式ブラインド42の始動は、レチクルRが走査し始めてからレチクルRと同じように走査し始めても良いし、目標の隠すべきパターンが差し掛かるのに合わせて動き始めても良い。

【0088】図1に戻り、前記投影光学系POは、前記の如く、反射光学素子(ミラー)のみから成る反射光学系が使用されており、ここでは、投影倍率1/4倍のものが使用されている。従って、レチクルRによって反射され、レチクルRに描かれたパターン情報を含むEUV光ELは、投影光学系POによって4分の1に縮小されてウエハW上に照射される。

【0089】ここで、投影光学系POについて図8を用いてより詳細に説明する。この図8に示されるように、投影光学系POは、レチクルRで反射されたEUV光ELを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー(反射光学素子)と、これらのミラーM1~M4を保持する鏡筒PPとから構成されている。前記第1ミラーM1及び第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値(標準偏差)で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光に対する反射層が形成されている。

【0090】この場合、図8に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には穴が空けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるよう第1ミラーM1には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としても良い。

【0091】投影光学系POが置かれている環境も真空であるため、露光用照明光の照射による熱の逃げ場がない。そこで、本実施形態では、ミラーM1~M4と当該ミラーM1~M4を保持する鏡筒PPの間をヒートパイプHPで連結するとともに、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒PPを内側のミラー保持部50と、その外周部に装着された冷却装置としての冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内に流入するよ

うになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0092】このため、本実施形態の投影光学系POでは、露光用照明光(EUV光)ELの照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1、M2、M3、M4が前記一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、本実施形態では、図8に示されるように、ミラーM1、M2、M4等については、その裏面側のみでなく表面側(反射面側)の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第3ミラーM3の裏面側や第1ミラーM1の表面側のヒートパイプHPは、紙面の奥行き方向において鏡筒PPの内周面に達していることは言うまでもない。なお、鏡筒PPの外観は、図6に示されるように、四角柱状をしている。

【0093】図1に戻り、前記ウエハステージWSTは、XY平面に沿って配置されたウエハステージベース60上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によって該ウエハステージベース60上に浮上支持されている。このウエハステージWSTは、前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってX方向及びY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、 θ 方向(Z軸回りの回転方向)にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージWSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0094】ウエハステージWSTの底面には、永久磁石(図示省略)が設けられており、この永久磁石とウエハステージベース60上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル(図示省略)とによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62が構成されており、後述する主制御装置80により前記コイルに流す電流を制御することによってウエハステージWSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0095】ウエハステージWSTの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、該ウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。また、このウエハステージWSTの図1におけるY方向他側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面74aが形成されている。また、図1では図示が省略されているが、図6に示されるように、ウエハステージWSTのX方向一側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面74bが形成されている。そして、この露光装置10では、前記反射面74a、74bに測定ビームを照射する干渉計システムによって投影光学系POに対するその位置が正確に測定されるよう

になっている。この干渉計システムについては後述する。

【0096】ウエハステージWST上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系ALGの相対位置関係の計測(いわゆるベースライン計測)等を行うための空間像計測器FMが設けられている。この空間像計測器FMは、従来のDUV露光装置の基準マーク板に相当するものである。

【0097】図9(A)、(B)には、この空間像計測器FMの平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器FMの上面には、開口としてのスリットSLTが形成されている。このスリットSLTは、ウエハステージWSTの上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質63の表面に形成されたEUV光の反射層64にパターンニングされたものである。なお、反射層64に代えてEUV光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

【0098】前記スリットSLTの下方のウエハステージWSTの上面板には、開口66が形成されており、この開口66に対向するウエハステージWSTの内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子PMが配置されている。従って、投影光学系POを介して上方から空間像計測器FMにEUV光ELが照射されると、スリットSLTを透過したEUV光が蛍光発生物質63に到達し、該蛍光発生物質63がEUV光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子PMによって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子PMの出力信号も主制御装置80に供給されるようになっている。

【0099】次に、図6を用いて、レチクルステージRST及びウエハステージWSTの位置を計測する干渉計システム70(図10参照)の構成等について詳述する。なお、図6においては、各レーザ干渉計の測長軸を用いて該当するレーザ干渉計を代表的に示している。

【0100】この干渉計システム70は、レチクルステージRSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計RIFX1、RIFX2、RIFY1、RIFY2と、ウエハステージWSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計WIFX1、WIFX2、WIFY1、WIFY2とを含んで構成されている。

【0101】干渉計RIFY1は、レチクルステージRSTの反射面40aに計測ビームRIFY1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)72a(図1参照)に参照ビームRIFY1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFY1Mの投射位置での固定鏡72aに対するレチクルステージRSTのY方向の相対位置を計測する。

【0102】同様に、干渉計RIFY2は、レチクルス

テージRSTの反射面40aに計測ビームRIFY2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)72a(図1参照)に参照ビームRIFY2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFY2Mの投射位置での固定鏡72aに対するレチクルステージRSTのY方向の相対位置を計測する。

【0103】上記2つの干渉計RIFY1、RIFY2の計測ビームRIFY1M、RIFY2Mの照射位置の中心が照明領域IAの中心(レチクルRのX方向の中心)と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージRSTのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージRSTの回転角(ここでは $\alpha 1$ とする)を与える。これらの干渉計RIFY1、RIFY2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\alpha 1$ を算出する。

【0104】また、干渉計RIFX1は、レチクルステージRSTの反射面40bに計測ビームRIFX1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)72bに参照ビームRIFX1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFX1Mの投射位置での固定鏡72bに対するレチクルステージRSTのX方向の相対位置を計測する。

【0105】同様に、干渉計RIFX2は、レチクルステージRSTの反射面40bに計測ビームRIFX2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)72bに参照ビームRIFX2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFX2Mの投射位置での固定鏡72bに対するレチクルステージRSTのX方向の相対位置を計測する。

【0106】上記2つの干渉計RIFX1、RIFX2の計測ビームRIFX1M、RIFX2Mの照射位置の中心が照明領域IAの中心(図5中の点P2参照)と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージRSTのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージRSTの回転角(ここでは $\alpha 2$ とする)を与える。これらの干渉計RIFX1、RIFX2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\alpha 2$ を算出する。この場合、主制御装置80では上記の回転角 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ のいずれか一方、又はその平均値($\alpha 1 + \alpha 2$)/2をレチクルステージRSTの θ 方向の回転角として算出する。

【0107】干渉計WIFY1は、ウエハステージWSTの反射面74aに計測ビームWIFY1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた

固定鏡(参照鏡)76aに参照ビームWIFY1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFY1Mの投射位置での固定鏡76aに対するウエハステージWSTのY方向の相対位置を計測する。

【0108】同様に、干渉計WIFY2は、ウエハステージWSTの反射面74aに計測ビームWIFY2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)76aに参照ビームWIFY2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFY2Mの投射位置での固定鏡76aに対するウエハステージWSTのY方向の相対位置を計測する。

【0109】上記2つの干渉計WIFY1、WIFY2の計測ビームWIFY1M、WIFY2Mの照射位置の中心が照明領域IAに対応するウエハ上の円弧状の露光領域SA(図11参照)の中心と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージWSTのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージWSTの回転角(ここでは $\beta 1$ とする)を与える。これらの干渉計WIFY1、WIFY2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\beta 1$ を算出する。

【0110】また、干渉計WIFX1は、ウエハステージWSTの反射面74bに計測ビームWIFX1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)76bに参照ビームWIFX1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFX1Mの投射位置での固定鏡76bに対するウエハステージWSTのX方向の相対位置を計測する。

【0111】同様に、干渉計WIFX2は、ウエハステージWSTの反射面74bに計測ビームWIFX2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡(参照鏡)76bに参照ビームWIFX2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFX2Mの投射位置での固定鏡76bに対するウエハステージWSTのX方向の相対位置を計測する。

【0112】上記2つの干渉計WIFX1、WIFX2の計測ビームWIFX1M、WIFX2Mの照射位置の中心が照明領域IAに対応する露光領域SAの中心と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージWSTのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージWSTの回転角(ここでは $\beta 2$ とする)を与える。これらの干渉計WIFX1、WIFX2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\beta 2$ を算出する。この場

合、主制御装置80では上記の回転角 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ のいずれか一方、又はその平均値 $(\beta 1 + \beta 2) / 2$ をウエハステージWSTの θ 方向の回転角として算出する。

【0113】図1に戻り、上記8つの干渉計の全ての計測の基準となる投影光学系POの鏡筒PPには、レチクルRのZ方向（第1軸方向）の位置を計測する計測装置としてのレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZが設けられている。このレーザ干渉計RIFZは、実際には、図6に示されるように、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の3つが所定間隔で配置され、鏡筒PPに固定されているが、図1（及び図4）では、これらが代表的にレーザ干渉計RIFZとして示されている。

【0114】これらのレーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3からの測定ビームは、折り返しミラーMを介して所定の入射角 θ でレチクルRのパターン面に投射される露光用照明光ELの照射領域、すなわち円弧状の照明領域IA内の異なる3点に露光用照明光ELの入射光路と出射光路（反射光路）の中心のZ方向の光路を通してレチクルRのパターン面に投射されるようになっている（図1及び図4参照）。このため、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3は、レチクルRのパターン面に所定の入射角 θ で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される露光用照明光ELに影響を及ぼすことなく、かつ露光用照明光ELによって干渉計測定ビームが影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数nm～1nm以下の精度）でレチクルRのZ方向位置を計測することが可能になっている。

【0115】レーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3としては、ここでは、本体内に不図示の参照鏡が内蔵された参照鏡内蔵タイプのものが用いられ、その参照鏡の位置を基準としてレチクルR上の測定ビームの照射位置のZ方向位置を、それぞれ計測する。この場合、図5に示される照明領域IA内の点P1の位置にレーザ干渉計RIFZ1からの測定ビームが投射され、点P2の位置にレーザ干渉計RIFZ2からの測定ビームが投射され、点P3の位置にレーザ干渉計RIFZ3からの測定ビームが投射されるようになっている。点P2は、照明領域IAの中心、即ちパターン領域PAのX方向の中心軸上の点でかつ照明領域のY方向の中心点であり、点P1、P3は前記中心軸に関して対称の位置にある。

【0116】これら3つのレーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3の計測値は、主制御装置80に入力されるようになっており（図10参照）、主制御装置80ではこれら3つの計測値に基づいて後述するようにして磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRST、すなわちレチクルRのZ位置及び傾斜を補正するようになっている。

【0117】この一方、鏡筒PPを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系POに固定された斜入射光

式のフォーカスセンサ14によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ14は、図1に示されるように、鏡筒PPを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームFBを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームFBを受光する受光系14bとから構成される。このフォーカスセンサとしては、例えば特開平6-283403号公報等に開示される多点焦点位置検出系が用いられている。このフォーカスセンサ14（14a、14b）は鏡筒PPと一体的に固定されることが重要である。

【0118】これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、レチクルRのXYZ3次元方向の位置が投影光学系POの鏡筒PPを基準として計測され、また、ウエハWのXYZ3次元方向の位置が投影光学系POの鏡筒PPを基準として計測されるので、投影光学系POとレチクルステージRSTとウエハステージWSTの3者は同一の支持部材で支えられる必要は無く、それぞれが別々の支持部材によって支えられても差し支えない。すなわち、投影光学系PO、レチクルステージRST及びウエハステージWSTの3者間に機械的接触は全くなくとも差し支えない。また、前述した干渉計システム70を構成する各干渉計の本体も、鏡筒PPに取り付けられたそれぞれの固定鏡を参照して計測を行っているので、投影光学系PO、レチクルステージRST、ウエハステージWSTと機械的接触は必要無い。

【0119】さらに、本実施形態では、投影光学系POの側面に、図1に示されるように、前記アライメント光学系ALGが固定されている。このアライメント光学系ALGとしては、ブロードバンド光をウエハW上のアライメントマーク（または空間像計測器FM）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサ、レーザ光を格子マークに照射して回折光を検出するLIA（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメントセンサやAFM（原子間力顕微鏡）のような走査型プローブ顕微鏡等種々のものを用いることができる。

【0120】図10には、これまでに各所で説明した、ウエハW（ウエハステージWST）及びレチクルR（レチクルステージWST）の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成が概略的にブロック図にて示されている。この図10に示される制御系の内の主制御装置80（マイクロコンピュータ又はミニコンピュータから成る）及び磁気浮上型リニアアクチュエータ34、62によって、ステージ制御系が構成され、また、これらとレチクルステージWST及びウエハステージWSTとによって駆動装置が構成されている。

【0121】次に、上述のようにして構成された本第1の実施形態に係る露光装置10による露光工程の動作について説明する。

【0122】まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTのレチクルホルダRHに吸着保持される。次に、主制御装置80からの指令に基づいて駆動機構46によりスリット板44が露光用照明光ELが第2スリット44bを照射可能な位置（第2位置）へ切り替えられる。次いで、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62、34を介してウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置を制御して、レチクルR上に描画されたレチクルアライメントマークRM1、RM4、RM2、RM5、RM3、RM6を順次各2つ露光用照明光ELで照射するとともに、レチクルアライメントマークRM1、RM4、RM2、RM5、RM3、RM6のウエハW面上への投影像を空間像計測器FMで検出することにより、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置を求める。すなわち、レチクルアライメントを行う。

【0123】次に、主制御装置80では、空間像計測器FMのスリットSLTがアライメント光学系ALGの直下へ位置するように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを移動し、アライメント光学系ALGの検出信号及びそのときの干渉計システム70の計測値に基づいて、間接的にレチクルRのパターン像のウエハW面上への結像位置とアライメント光学系ALGの相対位置、すなわちベースライン量を求める。

【0124】かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置80ではウエハステージWST上のウエハWの各ショット領域に付設されたウエハアライメントマークの内の予め定めたサンプル対象となっているウエハアライメントマークの位置検出を、ウエハステージWSTを順次移動させつつ、アライメント光学系ALGを用いて行う。このようにして、サンプルショットのウエハアライメントマークの位置検出が終了すると、それらのデータを用いて最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の位置を求める。このようにして、アライメント計測が終了すると、主制御装置80では駆動機構46を介してスリット板44を、第1スリット44aに露光用照明光ELが照射される位置（第1位置）へ切り替える。

【0125】そして、主制御装置80では次のようにしてステップアンドスキャン方式の露光をEUV光を露光用照明光ELとして用いて行う。すなわち、上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システム70からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを第1ショットの走査開始位置に位置決めするとともに、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショットの走査露光を行う。

この走査露光に際し、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62を介してレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの速度比が投影光学系POの投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光（レチクルパターンの転写）が行われる。こうして第1ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショットの走査露光を上述と同様にして行う。この場合、レチクルステージRSTを戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第1ショットと第2ショットとの走査露光の方向は反対向きで、すなわち第1ショットの露光がY軸上の一侧から他側の向きで行われた場合には第2ショットの露光は他側から一侧の向きで行われる。すなわち交互スキャンが行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。図11には、このようにして、レチクルパターンがウエハW上の複数ショット領域Sに転写される様子が示されている。図11の場合は、1枚のウエハから効率良く完全な形のショットが得られるよう、一行内に収めるショット数を適宜偶数、奇数としている。

【0126】ここで、上記の走査露光中やアライメント中には、投影光学系POに一体的に取付けられたフォーカスセンサ（14a、14b）によってウエハW表面と投影光学系POの間隔、XY平面に対する傾斜が計測され、主制御装置80によって磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハW表面と投影光学系POとの間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御される。

【0127】また、主制御装置80では、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つにより計測された所定の調整用位置情報に基づいて、露光中（レチクルパターンの転写中）の投影光学系POとレチクルRのパターン面との間隔が常に一定に保たれるように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を制御してレチクルRの投影光学系POの光軸方向（第1軸方向、Z方向）の位置を調整しつつ、レチクルステージRSTと基板ステージWSTとをY軸方向（第2軸方向）に沿って同期移動させる。この場合、主制御装置80では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期移動時に、レチクルステージRSTの移動方向毎、例えば第1ショットと第2ショットとで、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによって計測された第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用

いてレチクルステージRSTのZ方向位置を調整するようになっている。

【0128】従って、本実施形態によると、走査露光によりレチクルRのパターンの全面がウエハW上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてレチクルRの投影光学系の光軸方向（第1軸方向）の位置が調整されるので、投影光学系POのレチクル側が非テレセントリックであるにもかかわらず、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。また、レチクルステージRSTがY軸に沿って一側から他側に移動するときと、他側から一側に移動するときとで、同期移動中のレチクルRのZ方向の位置変位がメカ的要因（ステージの移動特性）や制御特性等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にレチクルRのZ位置調整を行うことができ、レチクルRのZ方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのをより効果的に抑制することができる。

【0129】ここで、主制御装置80では露光中のレチクルRのZ方向の位置調整を、予めレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによって計測して得た調整用位置情報（第1の調整用位置情報、第2の調整用位置情報）に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34をフィードフォワード制御することにより行っても良く、あるいは実際の走査露光中にレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによってリアルタイムに計測して得た調整用位置情報（第1の調整用位置情報、第2の調整用位置情報）に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34をフィードバック制御することにより行っても良い。前者の場合には、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期移動中に、レチクルRのZ変位を計測することなく、予め計測された情報に基づいてフィードフォワード制御により調整が行われるので、その調整に際して制御遅れに起因する調整誤差が発生し難い。後者の場合には、前者の場合に比べて制御遅れが発生しないような制御系の工夫が必要であるが、より高精度にレチクルRのZ方向の位置を調整できるという利点がある。

【0130】また、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3は、レチクルRの円弧状の照明領域IA内の異なる位置にそれぞれの測定ビームを照射し、各測定ビームの照射位置でレチクルRのZ方向位置を計測するので、これらのレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の全てを用いることにより、最も正確な測定データに基づいて時々刻々のレチクルR上のパターン転写の対象領域内のZ位置のみでなくその傾斜をも調整することが可能にな

り、結果的に重ね合わせ精度を一層向上させることが可能になる。

【0131】これまでの説明から明らかなように、本実施形態では主制御装置80、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ、及びレチクルステージRSTによって、レチクルRとウエハWの同期移動中にレチクルパターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系POに対してレチクルRを第1方向に相対移動させる補正装置、すなわち、レチクルRの移動によって生じるレチクルパターンの像倍率の変化を補償する補正装置が構成されている。また、本実施形態では、主制御装置80、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ、及びレチクルステージRSTによって、レチクルRとウエハWの同期移動中に投影光学系の物体面と直交する方向のレチクルの位置と、物体面に対するレチクルの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置が構成されている。さらに、本実施形態では、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34とレチクルステージRSTとによってレチクルRとウエハWの同期移動中、投影光学系POの物体面側でレチクルRをZ方向に駆動する駆動部材が構成されている。

【0132】以上詳細に説明したように、本第1の実施形態によると、照明光学系（PRM、IM、30、M、44）からレチクルRと直交するZ方向に対して傾いた光軸方向の照明光ELがレチクルRに照射され、この照明光がレチクルRのパターン面で反射され、この反射光が投影光学系POによってウエハW上に投射され、照明光で照明されたレチクルR上のパターンがウエハWに転写される。このレチクルパターンの転写に際して、駆動装置（80、34、62、RST、WST）では投影光学系POの倍率に応じた速度比でレチクルRとウエハWとを同期移動する。この同期移動中に、補正装置（80、34、RST、RIFZ）ではパターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系POに対してレチクルRをZ方向に相対移動させる。この際、補正装置ではレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZの出力に基づいてレチクルRをZ方向に移動するようにしても良い。これにより、本実施形態の露光装置10では、走査露光によりレチクルRのパターンの全面がウエハW上に逐次転写され、この際補正装置により、パターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系POに対してレチクルRがZ方向に相対移動されるので、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0133】また、本実施形態によると、照明系（12、PRM、IM、30、M、44）は、照明光ELとして波長5～15nmの間のEUV光をレチクルRに照射し、投影光学系POとして複数の反射光学素子（M1

～M4)のみからなる反射光学系が用いられているため、EUV光を用いてレチクルパターンが投影光学系POを介してウエハWに転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能である。

【0134】また、本実施形態によると、干渉計システム70がレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの投影光学系POに対するXY面内の相対位置を計測し、レチクルRの投影光学系POに対するZ方向の相対位置がレーザ干渉計RIFZにより計測され、かつウエハWの投影光学系POに対するZ方向の相対位置がフォーカスセンサ14により計測されるようになっているので、レチクルステージRSTとウエハステージWSTと投影光学系POとが別々の支持部材に支持されていても何らの支障がない。このため、レチクルステージRSTとウエハステージWSTと投影光学系POとが機械的に連結される必要がないので、レチクルステージRST、ウエハステージWSTの移動時の加減速度による反力やそれぞれのステージの支持部材の振動が、投影光学系POの結像特性に悪影響を及ぼしたり、一方のステージの移動時の加減速度による反力が支持部材を介して他方のステージの挙動に悪影響を与えることもない。

【0135】また、本実施形態によると、照明光学系内のスリット板44は、レチクルパターンの一部に照明光ELを照射する第1スリット44aと、レチクルアライメントマークに照明光ELを照射する第2スリット44bとを有し、照明光ELに対し第1スリット44aと第2スリット44bとを切り替える駆動機構46が設けられていることから、同一のスリット板44により露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になる。また、この場合、スリット板44のない場合に比べて照明光学系からレチクルRに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。

【0136】また、本実施形態では、露光用照明光ELが軟X線領域の光であり、ウエハステージWST上に、蛍光発生物質63と、この表面に露光用照明光ELの反射層62の薄膜により形成されたスリットSLTと、該スリットSLTを介して露光用照明光ELが蛍光発生物質63に到達した際に蛍光発生物質63が発する光を光電変換する光電変換素子PMとを有する空間像計測器FMを備えることから、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となり、この空間像計測器FMを用いてレチクルパターンのウエハステージWST上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

【0137】また、本実施形態では、レチクルRのパターンが、EUV光ELの反射層上に成膜されたEUV光

(露光用照明光)ELの吸収物質によって形成されていることから、露光用照明光である軟X線領域の光の反射物質から成る多層膜をパタニングする場合と異なり、失敗した場合のパターン修復が可能となる。また、上記吸収物質の材料を適当に選択することにより、上記の露光用照明光の反射層と吸収物質とを干渉計RIFZの測長ビーム(例えば可視領域の光)に対してほぼ同一反射率に設定することができ、レチクルR上の全面でほぼ同一精度でレチクルRのZ軸方向位置を計測することが可能となる。

【0138】なお、上記実施形態では、レチクル面計測用レーザ干渉計RIFZとして、参照鏡一体型のタイプを使用する場合を例示したが、本発明がこれに限定されることはなく、マスクのZ位置を計測する計測装置としての干渉計は、投影光学系に固定された参照鏡と、投影光学系から離れた位置に配置された干渉計本体とを有していても良い。かかる場合には、干渉計本体の発熱に起因して投影光学系、あるいはそれに固定されたアライメントセンサやフォーカスセンサ等の各種のセンサの光学特性に悪影響を与えるのを回避することができる。また、上記実施形態では、レーザ干渉計RIFZからの3つの測定ビームがレチクルR上の照明領域IA内に照射される場合について説明したが、これに限らず、例えば干渉計RIFZは、レチクルRのY方向の異なる位置に測定ビームを照射し、各測定ビームの照射位置毎にレチクルRのZ方向の位置を計測するようにしても良い。かかる場合には、少なくともY方向(同期移動方向)については、レチクルRとウエハWとの同期移動中にレチクルRの光軸方向位置ずれ傾斜ずれを調整することが可能になる。この場合において、干渉計RIFZから少なくとも2本の測定ビームをレチクル上の照明領域IAのY方向の両側にそれぞれ照射する場合には、レチクルRとウエハWとの同期移動中に、いわゆる先読み制御を行うことにより、フィードフォワードにてレチクルRのZ位置の調整が可能になる。このような場合には、主制御装置80、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ、及びレチクルステージRSTによって投影光学系の物体面と直交する方向のレチクルの位置と、物体面に対するレチクルの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置が構成される。

【0139】また、上記実施形態では、同期移動中に投影光学系POの物体面側でレチクルRをZ方向(第1方向)に移動させる駆動部材が、レチクルRを保持するレチクルステージWSTとこれを駆動する磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34とで構成される場合について説明したが、これに限らず、レチクルステージRST上にレチクルRを保持するレチクルホルダRHを複数点でZ方向に駆動するピエゾ素子等の別のアクチュエータを設け、これによって駆動部材を構成してもよい。いず

れにしても、駆動部材は、投影光学系POの物体面に対してレチクルRを相対的に傾けるものであることが望ましい。かかる場合には、同期移動中、駆動部材によって、投影光学系POの物体面側でレチクルRがZ方向に移動されるのに加え、投影光学系POの物体面に対する傾斜調整も可能になるので、投影光学系の物体面側が非テレセントリックであるにもかかわらず、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターン転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0140】また、上記実施形態では、スリット板44を用いて円弧状の照明領域IAを規定する場合について説明したが、これに限らず、照明光学系を構成する各光学部材が照明光ELが円弧状の形になるように設計されていればレチクルR直下のスリット板44は必ずしも設ける必要はない。

【0141】また、レチクルアライメントマークはRM1～RM6の位置ではなく、図5中のRM7～RM12の位置にしても良い。かかる場合には、スリット板44として、第1スリット44aのみを有するスリット板があれば良く、また、駆動機構46は不要である。あるいは、レチクルアライメントマークをRM1～RM12の全ての位置に形成し、これら全てを利用しても良い。

【0142】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態について図12、図13に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその詳細な説明は省略するものとする。

【0143】図12には、第2の実施形態の露光装置100の全体構成が概略的に示されている。この露光装置100も、前述した露光装置10と同様に、露光用照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。

【0144】この露光装置100は、前述した投影光学系POに代えて投影光学系PO'が設けられている点が前述した露光装置10と異なり、この点に特徴を有する。

【0145】図13には、この投影光学系PO'の内部構成が示されている。この図13に示されるように、投影光学系PO'は、奇数枚(ここでは、5枚)のミラーM5～M9によって構成されており、その結果、図12に示されるように、レチクルステージRSTとウエハステージWSTが投影光学系PO'に対していずれも同一側となっている。

【0146】すなわち、本第2の実施形態では、投影光学系POの下方側にはほぼ水平に配置された前述したウエハステージベース60と同様のステージベース60'上に、レチクルステージRSTとウエハステージWSTが

ともに配設されている。これら両ステージRST、WSTは、ステージベース60'上にそれぞれ磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62によって浮上支持されるとともに、前述した第1の実施形態の場合と同様に6自由度方向に駆動されるようになっている。

【0147】前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34は、レチクルステージRSTの底部に設けられた不図示の永久磁石とステージベース60'上にXY2次元方向に張り巡らされた不図示のコイルによって構成されている。同様に、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62は、ウエハステージWSTの底部に設けられた不図示の永久磁石と、ステージベース60'上にXY2次元方向に張り巡らされた不図示のコイルによって構成されている。前述した主制御装置80により前記各コイルに流す電流を制御することによって、前記両ステージの6次元方向の位置・姿勢制御及び、走査方向についての同期移動が行われるようになっている。すなわち、本第2の実施形態では、走査露光時に、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとを投影光学系PO'の投影倍率に応じた速度比で走査方向(Y軸方向)にほぼ沿って逆向きに駆動する駆動系が、前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62と主制御装置80とによって構成されている。

【0148】また、この場合、ウエハWを保持するウエハステージWSTの質量とレチクルRを保持するレチクルステージRSTとの質量の比が、投影光学系PO'の投影倍率と同一に設定されている。

【0149】その他の部分の構成等は、前述した第1の実施形態の露光装置10と同一である。従って、図12には、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZのみが示されているが、その他の測定系すなわち、レチクルXY干渉計、ウエハXY干渉計、フォーカスセンサ、アライメント光学系等も実際には、第1の実施形態と同様に設けられていることは勿論である。

【0150】また、図13においては、ミラーM5～M9の冷却システムが設けられていないが、第1の実施形態と同様に設けられていても良い。

【0151】このようにして構成された本第2の実施形態の露光装置100においても、レチクル面計測用のレーザ干渉計RIFZによりレチクルRと投影光学系PO'の間隔を測定することができるとともに、前述した第1の実施形態と同等の作用効果を得ることができる。さらに、この露光装置100によると、走査露光時に、駆動系(34、62、80)により、レチクルステージRSTとウエハステージWSTが投影光学系PO'の投影倍率に応じた速度比で所定方向にほぼ沿って逆向きに駆動されると、運動量保存則が成立して、ステージベース60'、レチクルステージRST及びウエハステージWSTを含む系の運動量が保存され、その系の重心移動が生じない。従って、レチクルステージRSTの駆動に

よりステージベース60'に作用する反力と、ウエハステージWSTの駆動によりステージベース60'に作用する反力とが相殺され、両ステージの同期誤差がほぼ零となる。

【0152】また、図13からも明らかなように、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとが同一面上に配置され、走査露光時には、駆動系(34、62、80)によって走査方向にほぼ沿った同一直線状を互いに逆向きに駆動されるので、ステージベース60'にはモーメントも作用しない。

【0153】以上より、この露光装置100では、走査露光時のレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期誤差及びステージベース60'の振動及びステージベースに作用する偏荷重等に起因してウエハW上のパターン転写像に位置ずれが生じるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度を一層向上させることができるとともに、ステージベース60'は床面からの微振動を絶縁するパッシブ防振台で支持すれば良く、高価なアクティブ防振台等は不要である。

【0154】なお、上記第2の実施形態では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとを同一面上に配置する場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとを同一のステージベースの高さ位置の異なる面上に配置しても良い。かかる場合には、両ステージの駆動に起因する反力がステージベースに及ぼす回転モーメントの影響を除去する何らかの装置、例えばアクティブ防振台等によってステージベースを支持すれば良い。これにより、上記の回転モーメントによって生じる偏荷重によりステージベースが傾く等の不都合を防止することができる。

【0155】また、上記第2の実施形態では、ウエハWを保持するウエハステージWSTの質量とレチクルRを保持するレチクルステージRSTとの質量の比が、投影光学系PO'の投影倍率と同一に設定されている場合について説明したが、必ずしもこのようにしなくても良い。すなわち、上記のステージベース60'を例えば磁気浮上方式で支持する別のベース部材を設けることにより、ウエハステージWSTとレチクルステージWSTとの質量比が投影倍率と異なる場合であっても対処可能である。この場合には、両ステージの駆動力の反力の合力によりステージベース60'はその合力の大きさと方向に応じてベース部材に対して相対移動するが、この相対移動により、レチクルステージRST、ウエハステージWST及びステージベースを含む系全体の重心を所定の位置に維持できるからである。この場合、ステージベース60'を磁気浮上型2次元リニアアクチュエータによって上記の別のベース部材の上方に支持しても良い。このようにすると、ステージベース60'が基準位置から所定量以上移動した場合に、磁気浮上型2次元リニアア

クチュエータによってXY面内の駆動力を発生することにより、ステージベース60'を基準位置に戻すことができる。

【0156】なお、上記第1、第2の実施形態で示した投影光学系や、照明光学系はほんの一例であって、本発明がこれに限定されないことは勿論である。

【0157】また、上記実施形態において、照明光ELとして、波長13.4nmのEUV光に限らず、波長11.5nmのEUV光を用いても良い。この波長域ではモリブデンとベリリウムとを交互に積層させた多層膜が光学素子の表面に形成されることになる。なお、70nmL/Sパターン、又は50nm孤立パターンを転写するためには、波長13.4nmのEUV光では開口数が0.1~0.12程度の投影光学系が用いられ、波長11.5nmのEUV光では開口数が0.08~0.1程度の投影光学系が用いられる。

【0158】さらに、上記実施形態の光源装置12では、銅テープなどのテープターゲットを用いるものとしたが、その代わりにガスジェットターゲット、又はクライオターゲットなどを用いても良い。

【0159】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1~23、及び請求項29~35に記載の各発明によれば、基板上のパターンの転写像に倍率誤差、あるいは位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることができるという従来にない優れた効果がある。

【0160】また、請求項24~28に記載の各発明によれば、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ重ね合わせ精度の向上を図ることができる露光方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の光源装置の内部を構成を示す図である。

【図3】図2の光源装置の左側面図である。

【図4】図1のレチクルステージ近傍の構成各部を詳細に示す図である。

【図5】レチクルの概略平面図である。

【図6】レチクルステージとウエハステージのXY平面内の位置を計測する干渉計システムの構成を説明するための図である。

【図7】図1のスリット板及びその駆動機構の一例を示す平面図である。

【図8】図1の投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。

【図9】(A)は空間像計測器を示す平面図、(B)は(A)の空間像計測器を示す側面図である。

【図10】ウエハ(ウエハステージ)及びレチクル(レ

チクルステージ)の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成を概略的に示すブロック図である。

【図11】レチクルパターンがウエハ上の複数ショット領域に転写される様子を示す図である。

【図12】第2の実施形態に係る露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

【図13】図12の投影光学系の内部構成を示す図である。

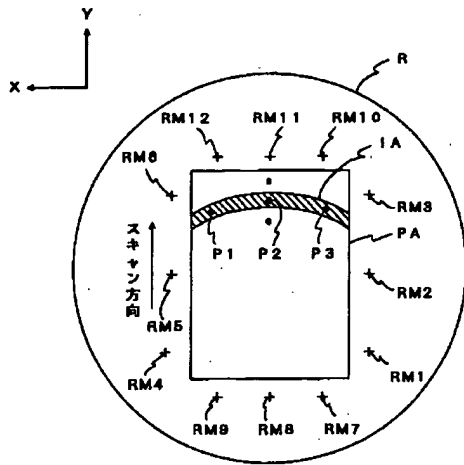
【図14】発明が解決しようとする課題を説明するための図である。

【符号の説明】

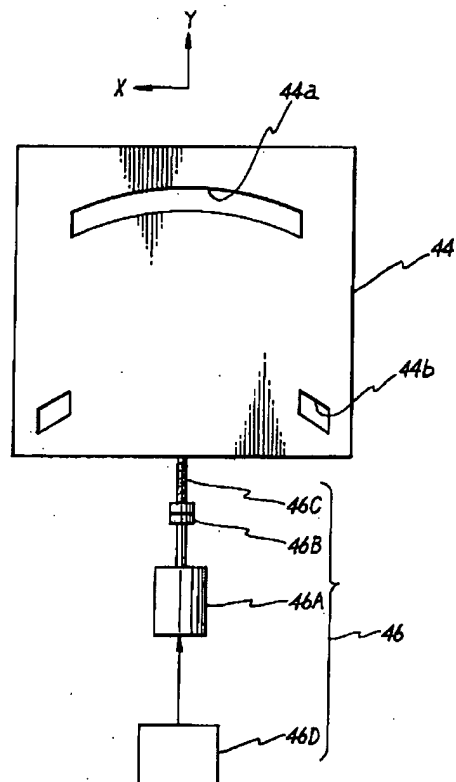
10…露光装置、12…光源装置(照明系の一部)、30…波長選択窓(照明光学系の一部、照明系の一部)、34…磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ(ステージ制御系の一部、駆動装置の一部、補正装置の一部、駆動部材の一部、調整装置の一部)、44…スリット板(視野絞り、照明光学系の一部)、44a…第1スリッ

ト(第1開口)、44b…第2スリット(第2開口)、46…駆動機構(切替機構)、62…磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ(ステージ制御系の一部、駆動装置の一部)、63…蛍光発生物質、70…干渉計システム、80…主制御装置(ステージ制御系の一部、駆動装置の一部、補正装置の一部、調整装置の一部)、R…レチクル(マスク)、PO…投影光学系、W…ウエハ(基板)、RST…レチクルステージ(マスクステージ、駆動装置の一部、駆動部材の一部、調整装置の一部)、WST…ウエハステージ(基板ステージ、駆動装置の一部)、PM…放物面鏡(照明光学系の一部、照明系の一部)、M…折り返しミラー(照明光学系の一部、照明系の一部)、IA…円弧状照明領域(第1照明領域)、RIFZ…レチクル面計測用レーザ干渉計(計測装置、干渉計、補正装置の一部、調整装置の一部)、FM…空間像計測器、SLT…スリット(開口)、EL…露光用照明光、PM…光電変換素子。

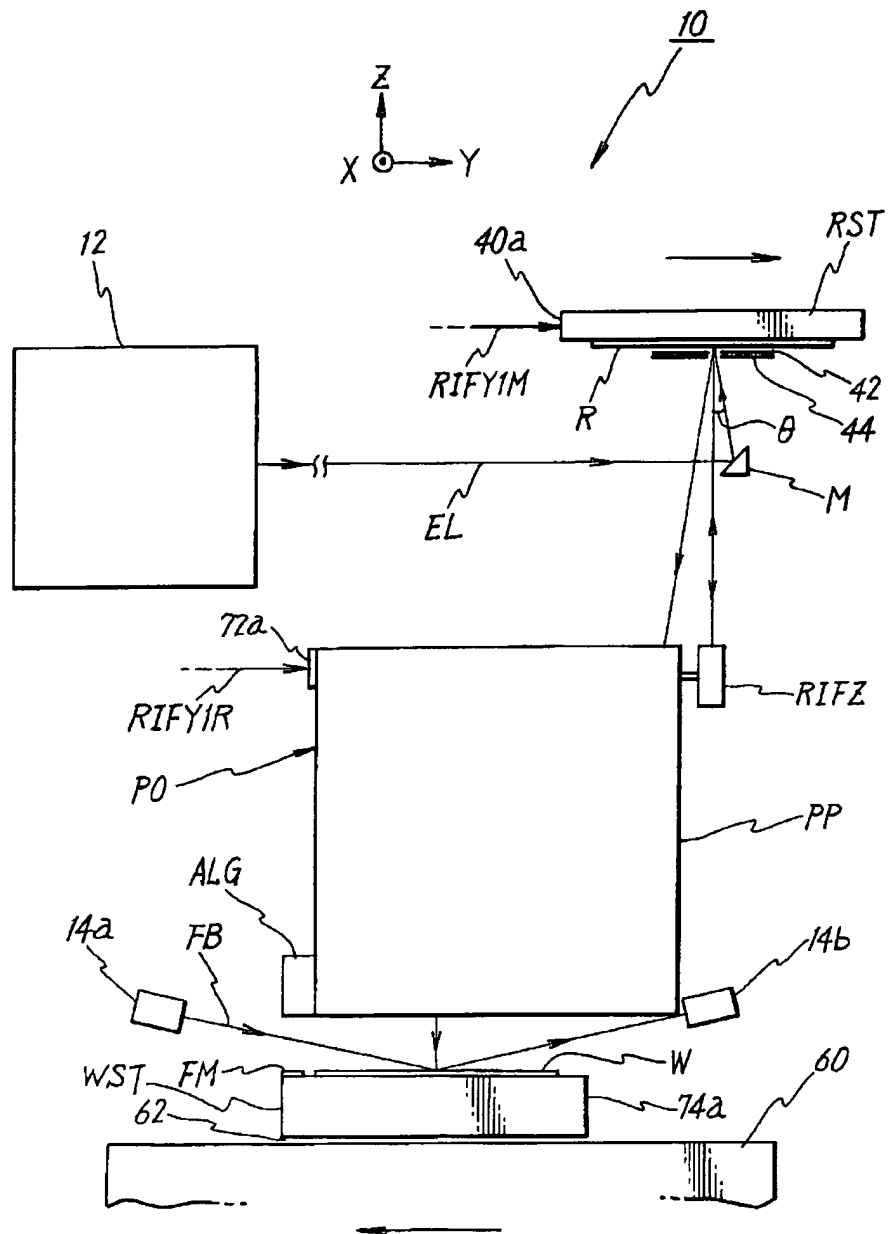
【図5】



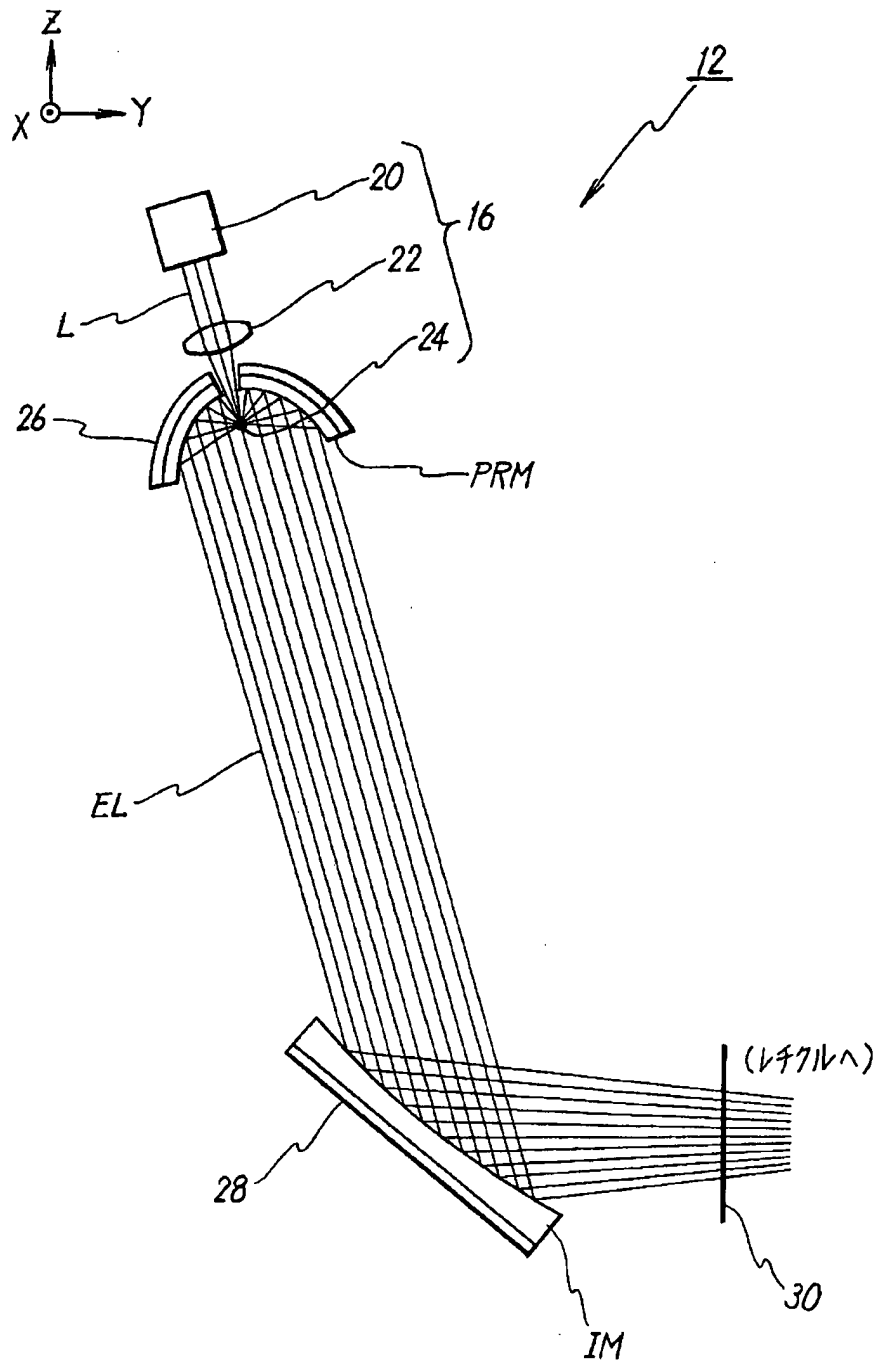
【図7】



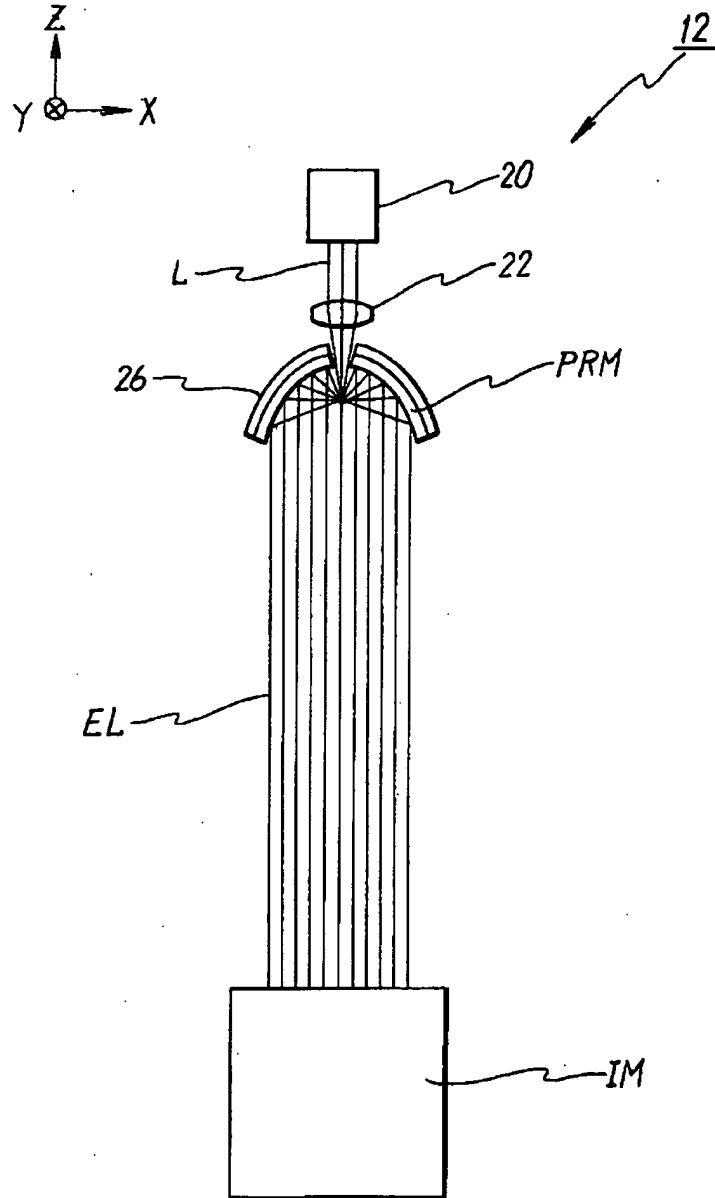
【図1】



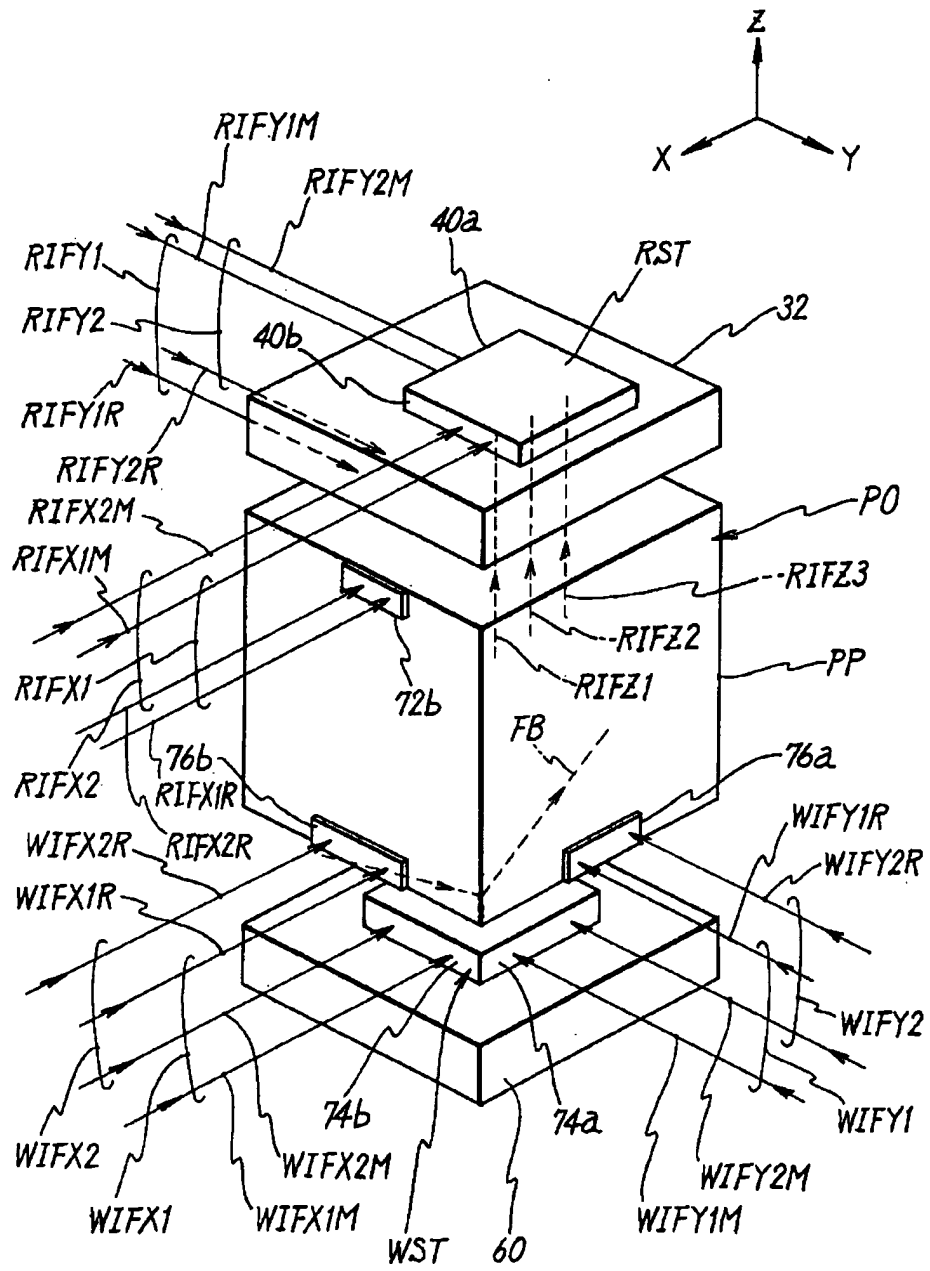
【図2】



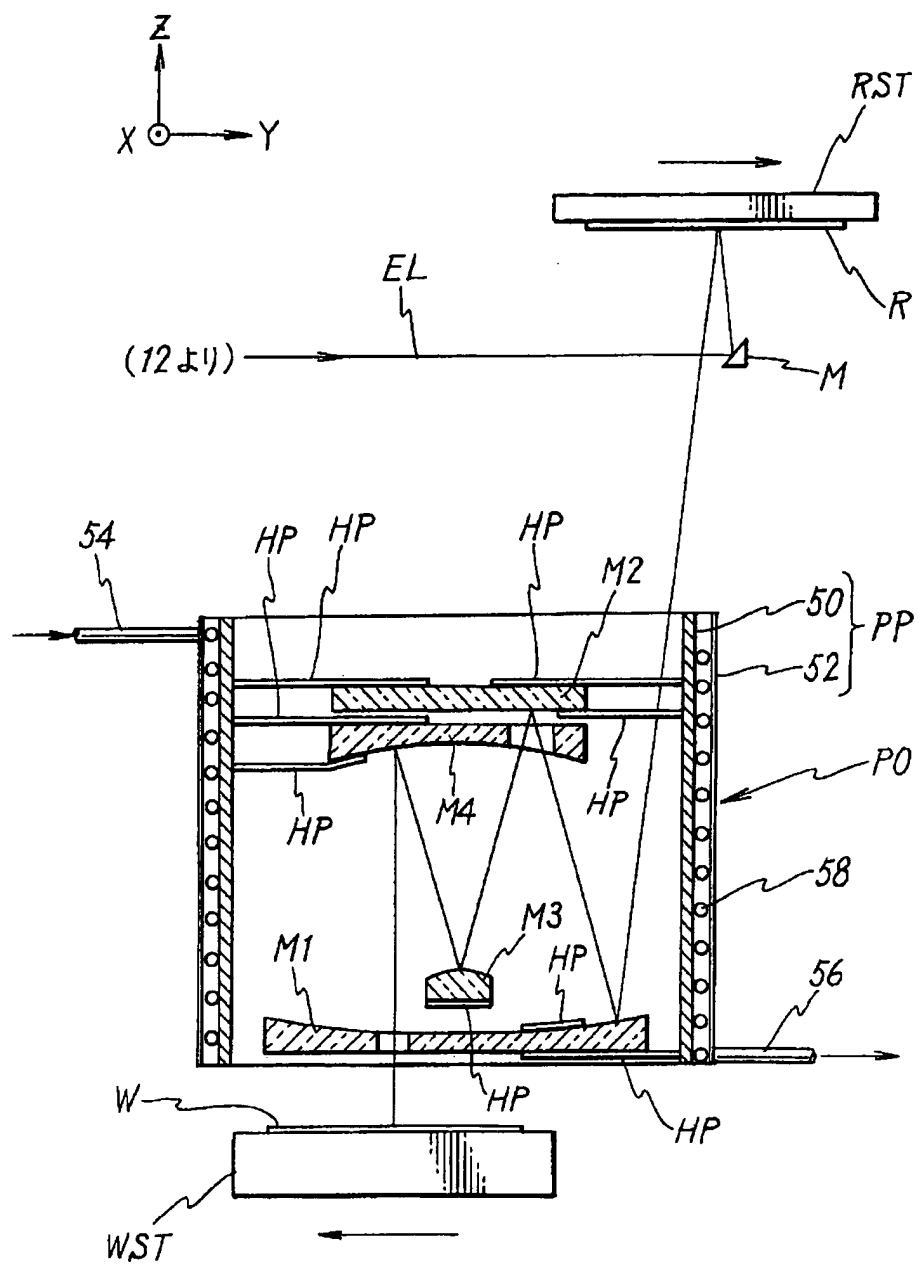
【図3】



【図6】

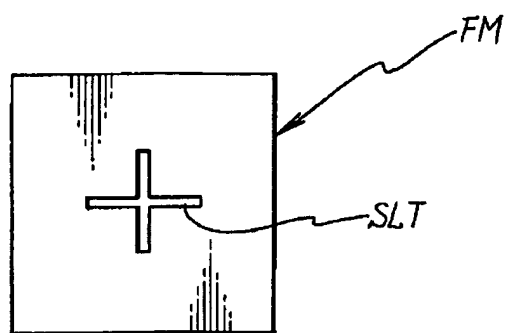


【図8】

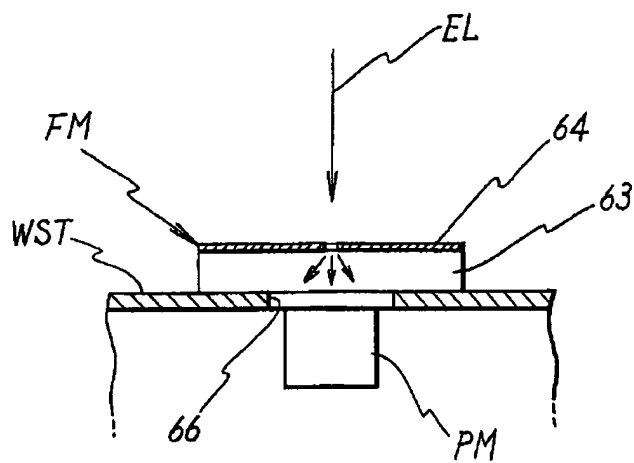


【図9】

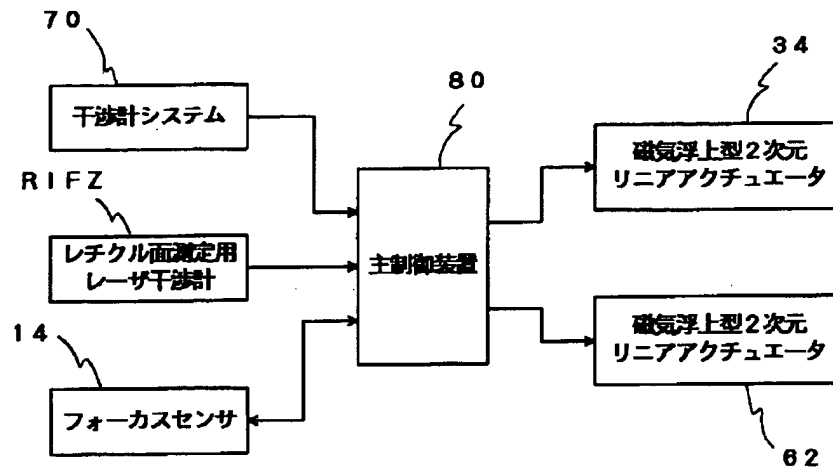
(A)



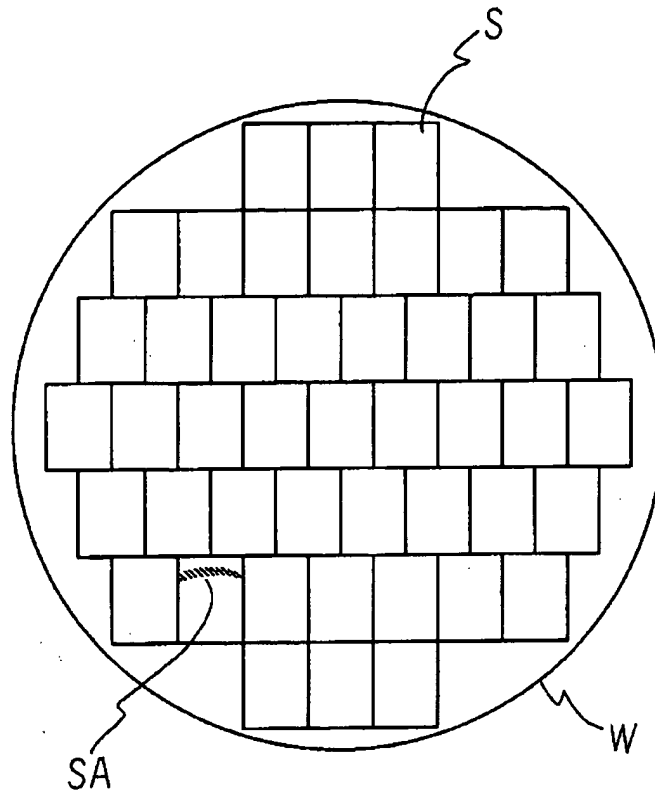
(B)



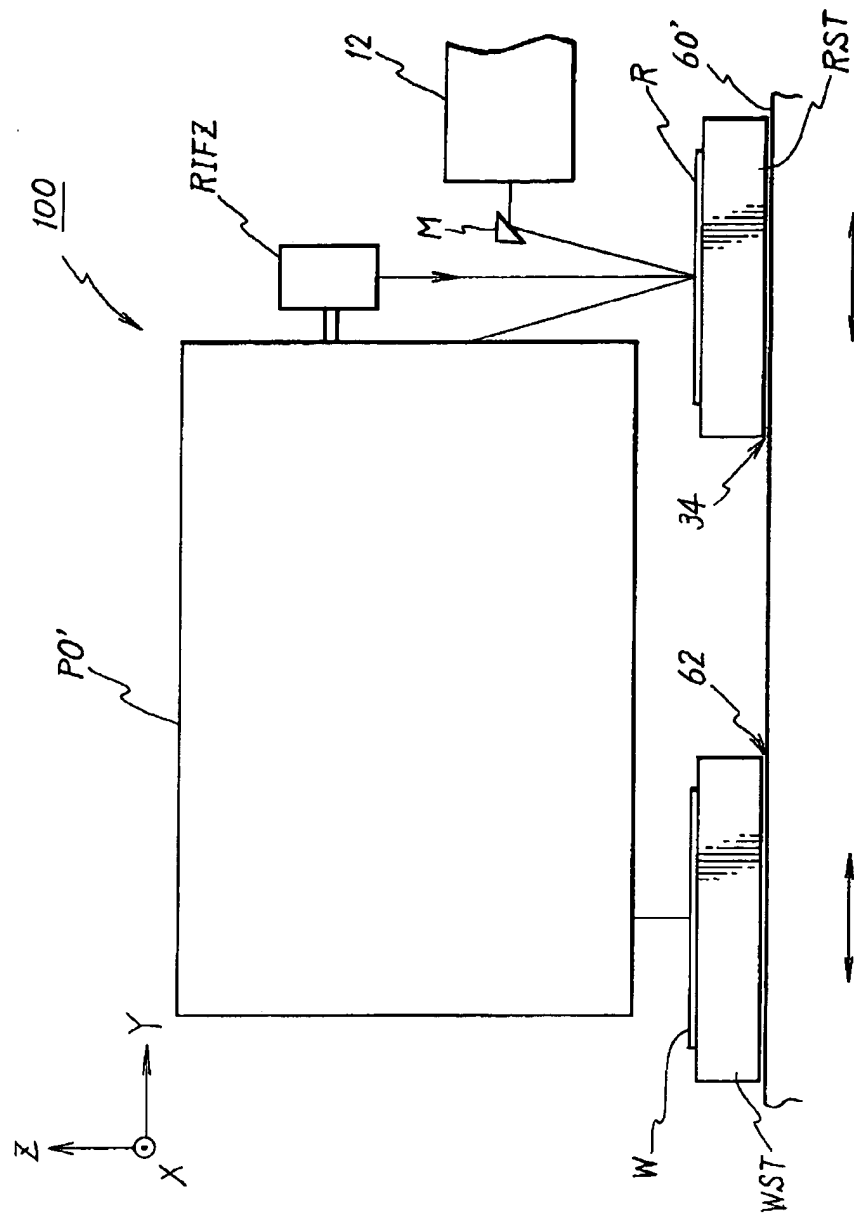
【図10】



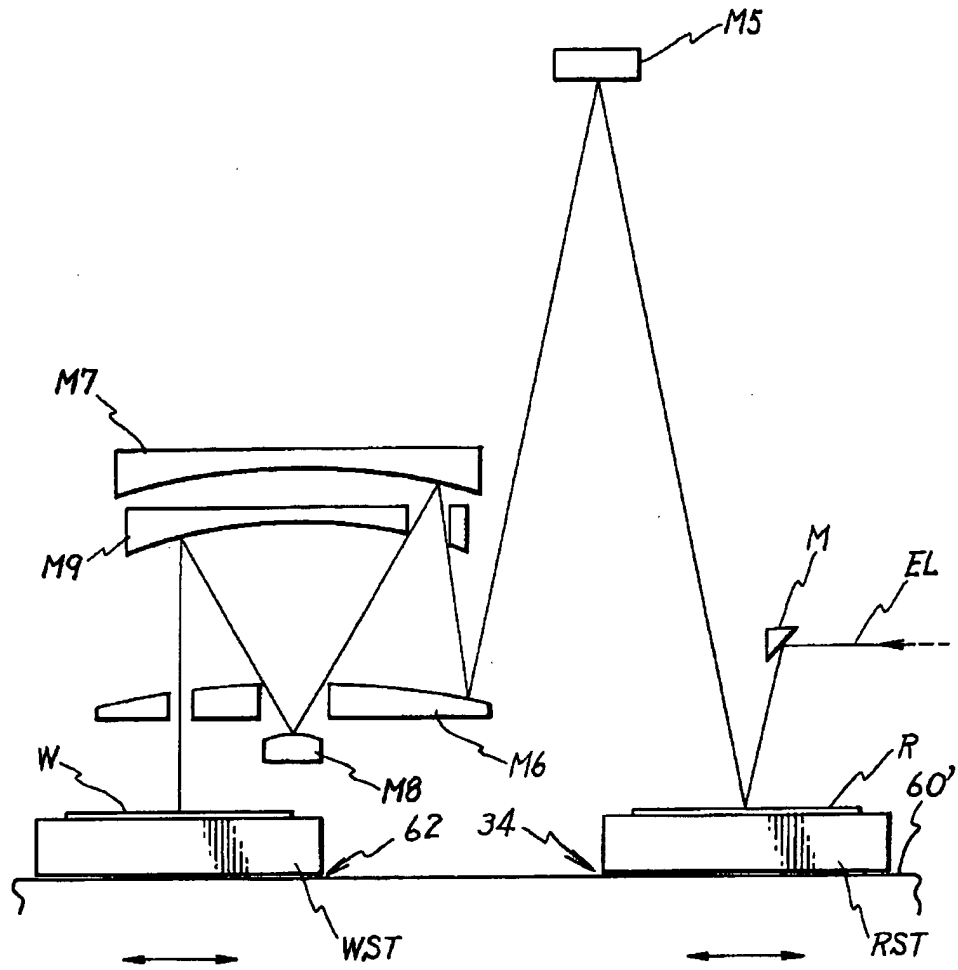
【図11】



【図12】



【図13】



516A
518
531A